

VŠB – Technická universita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování



Aplikace diagnostického systému Octavis
Efector

The Application of the Diagnostic System
Octavis Efector.

Student: Bc. Daniel KONEČNÝ
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. František HELEBRANT, CSc.

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Daniel Konečný**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: Aplikace diagnostického systému Octavis Efector.
The Application of the Diagnostic System Octavis Efector.

Zásady pro vypracování:

Základem každého měření v obecném smyslu je objektivní vyhodnocení s nejvyšší možnou vypovídací schopností, které je využitelné pro konkrétní výrobní proces, resp. jeho řízení. V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky v obecné rovině.
2. Ideově technický návrh řešení včetně metodického postupu implementace.
3. Aplikaci na podmínky vybraného objektu.
4. Vyhodnocení přínosů ve srovnání se stávajícím řešením.

Další potřebná technická specifikace zadání bude provedena v průběhu zpracování společností DIF, s.r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6
KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4
TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s. ISBN 80-901936-1-7

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. František Helebrant, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 23. 5. 2011

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO. bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 23.5.2011

.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Daniel KONEČNÝ

Adresa trvalého pobytu studenta: E. Rošického 949
Ostrava- Svinov
721 00

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KONEČNÝ, D. Aplikace diagnostického systému octavis efector. Ostrava: katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB- Technická universita Ostrava, 2011, 80 s. Diplomová práce, vedoucí Helebrant, F.

Diplomová práce se zabývá problematikou péče o hmotný majetek monitorováním diagnostického signálu pomocí systému octavis efector. Tento jednoduše implementovatelný systém pracuje na principu on-line diagnostiky vibrací s automatickým vyhodnocováním aktuálního stavu strojního zařízení. Vzhledem ke stoupajícímu trendu zvyšovat nároky na preciznost, rychlost a jakost výroby, což souvisí s vysokými nároky na spolehlivost celého výrobního děje, je zavádění on- line sledovacích systémů do procesu realizace produktu nezbytné.

V teoretické části diplomové práce Vás seznámím se základními pojmy, normami, vibracemi a systémem octavis efector obecně. Následovat bude praktická část, kde budu prezentovat výsledky nasazení monitorovacího systému octavis do praxe.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KONEČNÝ, D. The Aplication of the Diagnostic System Octavis Efector. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Fakulty of Mechanical Engineering VŠB – Technical university of Ostrava, 2011, 80 p. Master Thesis, head: Helebrant, F.

This thesis deals with the issue of taking care of tangible assets through monitoring the diagnostic signal by the means of a system called *octavis efector*. This easily implementable system is based on a principle of online diagnostics of vibrations with automated evaluation of the actual state of the machinery. Regarding the growing trend to increase the demands for precision, rate and quality of production, which relates to high demands for reliability of the entire production process, introduction of online monitoring systems into the product realization process is essential.

In the theoretical part of my thesis I am going to get you acquainted with the basic terms, standards, vibrations and the *octavis efector* system in general. The practical part will follow, during which the *octavis efector* monitoring system will be implemented in practice.

OBSAH

Strana

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 8 |
| 1 ÚVOD DO DANÉ PROBLEMATIKY | 9 |
| 1.1 Základní pojmy vibrodiagnostiky a údržby..... | 10 |
| 1.1.1 Kmitání..... | 10 |
| 1.1.2 Typy vibrodiagnostiky..... | 11 |
| 1.1.3 Typy údržby..... | 11 |
| 1.2 Vibrodiagnostický signál a jeho zpracování..... | 12 |
| 1.2.1 Rozdělení vibračního signálu..... | 12 |
| 1.2.2 Vzorkování a kvantování signálů..... | 14 |
| 1.2.3 Kvantizační šum..... | 15 |
| 1.2.4 Převodníky | 15 |
| 1.2.5 Aliasing | 16 |
| 1.2.6 Časová okna..... | 16 |
| 1.2.7 Průměrování spektra..... | 18 |
| 1.2.8 Obálková metoda | 18 |
| 1.2.9 FFT – Rychlá Fourierova transformace..... | 19 |
| 1.3 Snímače vibrací..... | 19 |
| 1.3.1 Základní parametry snímačů | 20 |
| 1.3.2 Základní rozdělení snímačů | 20 |
| 1.3.3 Akcelerometry | 21 |
| 1.3.4 Snímače MEMS..... | 23 |
| 1.3.5 Frekvenční rozsah a uchycení snímačů | 26 |
| 1.4 Analýza závad strojů | 28 |
| 1.5 Normy pro hodnocení vibrací..... | 33 |
| 1.5.1 Kritéria hodnocení vibrací..... | 34 |
| 2 Analýza současného stavu..... | 36 |
| 2.1 Monitoring vibrací systémem octavis efector | 37 |
| 2.1.1 Popis systému octavis efector | 38 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.1.2 | <i>Vlastnosti systému octavis efector</i> | 41 |
| 2.1.3 | <i>Teach – In (Referenční hodnota)</i> | 41 |
| 2.1.4 | <i>Spektrální zobrazení</i> | 42 |
| 2.1.5 | <i>Historie a snímače</i> | 43 |
| 2.1.6 | <i>Objekty diagnostiky</i> | 44 |
| 2.1.7 | <i>Technické specifikace</i> | 44 |
| 2.1.8 | <i>Dílčí závěr</i> | 46 |
| 3. | Návrh řešení – Systém octavis efector v praxi | 47 |
| 3.1 | <i>Popis modelu</i> | 47 |
| 3.2 | <i>Nastavení systému octavis efector</i> | 48 |
| 3.2.1 | <i>Nastavení monitoru vibrací v časové oblasti</i> | 52 |
| 3.2.2 | <i>Nastavení monitorování nevývahy</i> | 55 |
| 3.2.3 | <i>Dílčí závěr</i> | 60 |
| 3.3 | <i>Měření na modelu</i> | 61 |
| 3.3.1 | <i>Měření nevývahy</i> | 62 |
| 3.3.2 | <i>Další monitorované parametry</i> | 65 |
| 3.3.3 | <i>Dílčí závěr</i> | 67 |
| 3.4 | <i>Měření z praxe</i> | 68 |
| 3.4.1 | <i>Naměřená data a jejich vyhodnocení</i> | 70 |
| 3.4.2 | <i>Dílčí závěr</i> | 74 |
| 4. | Závěr | 75 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ | 76 |
| | PŘÍLOHY | 78 |

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK :

| Symbol, zkratka | Vysvětlení | Jednotka |
|-------------------|---|------------------------------|
| a | zrychlení | [mg, G, m. s ⁻²] |
| A | amplituda | [mm] |
| B _d | průměr valivého tělíska | [mm] |
| d | vnitřní průměr ložiska | [mm] |
| D | vnější průměr ložiska | [mm] |
| DFT | diskrétní Fourierova transformace | [-] |
| f | frekvence | [Hz] |
| f _{BPI} | poruchová frekvence vnitřního kroužku | [Hz] |
| f _{BPO} | poruchová frekvence vnějšího kroužku | [Hz] |
| f _{BSF} | poruchová frekvence valivého tělíska | [Hz] |
| f _r | rotorová frekvence | [Hz] |
| FFT | rychlá Fourierova transformace | [-] |
| f _{FTF} | poruchová frekvence klece | [Hz] |
| H-FFT | obálka FFT | [-] |
| m | počet bitů (rozlišení převodníku) | [-] |
| MEMS | mikro-elektromechanický systém | [-] |
| n | otáčky | [ot. min ⁻¹] |
| OPC | OLE for Process Control | [-] |
| P _d | střední průměr ložiska | [mm] |
| RMS | Efektivní hodnota | [-] |
| S/N _{dB} | odstup signálu od šumu | [dB] |
| t | čas | [s] |
| T | perioda | [s] |
| TPM | total produktivity maintaince | [-] |
| v | rychlost | [mm . s ⁻¹] |
| y | výchylka | [mm] |
| φ | počáteční fáze, úhel uložení valivého tělíska | [rad, °] |
| Φ | fáze | [rad] |
| π | Ludolfovo číslo | [-] |

1 ÚVOD DO DANÉ PROBLEMATIKY

V dnešním světě velké konkurence je nezbytné optimalizovat výrobní proces a dosáhnout v něm nejvyšší možné provozní spolehlivosti. Při cestě ke splnění tohoto cíle je jedním z nástrojů technická diagnostika jako prostředek pro zajištění nízké poruchovosti výroby.

Vyšší nároky na produkci a jakost (v důsledku konkurenceschopnosti) výroby vedou k používání sofistikovanějších strojních zařízení a postupů. Tato strojní zařízení mívají z pravidla vysokou pořizovací cenu a při jejich nečinnosti ve výrobě dochází ke ztrátám. V hraničním případě může stát celá existence výrobního podniku právě na takovém strojním zařízení.

Funkčnost a provozní spolehlivost takového strojního zařízení je dána vztahem údržby k technologickému procesu. Je zřejmé, že údržba vykonávána po poruše strojního zařízení je málo efektivní, a tím se v konečné fázi stává drahým typem údržby. Implementací technické diagnostiky do procesu výroby jsme schopni zaručit strojní spolehlivost, efektivnost a predikovat zbytkovou životnost diagnostikovaného objektu a jeho jednotlivých částí. Jedná se o péči na základě skutečného stavu strojního zařízení.

Vibrační diagnostika je metodou, která umožňuje pomocí měření a analýzy vibrací zjišťovat technický stav strojů. Používá metody strojní inspekce, off-line diagnostiky (pochůzkové) a on-line diagnostiky (monitorování).

Můžeme říci, že celá údržba směřuje k používání on-line diagnostických systémů. Jejichž včasnost a aktuálnost je nejsilnějším argumentem pro nasazení do technologického procesu. Neznamená to však, že zcela nahradí systémy a postupy off-line diagnostiky.

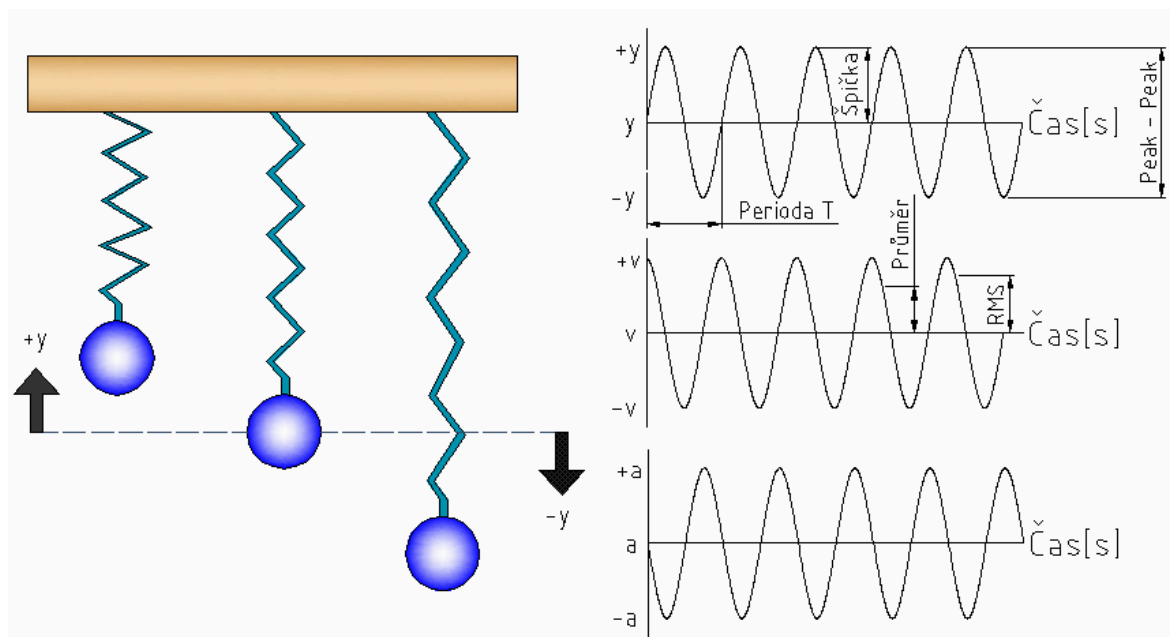
Diagnostický systém octavis efector, kterým se zabývá tato práce, nám nabízí možnosti on-line diagnostiky a off-line diagnostiky (pochůzky). Octavis efector má uživatelsky velmi příjemné softwarové prostředí. Monitoruje hladiny vibrací měřených bodů a upozorní obsluhu strojního zařízení (akusticky i vizuálně), pokud tyto hladiny vibrací přesáhnou nastavenou limitní hodnotu alarmů.

1.1 Základní pojmy vibrodiagnostiky a údržby

Pojmů související s vibrodiagnostikou a údržbou je mnoho. Proto v této kapitole uvedu v maximální stručnosti ty nejzákladnější s přímou vazbou k této práci..

1.1.1 Kmitání

Vznik vibrací můžeme v idealizované podobě popsat pomocí obrázku č.1, na němž je vyobrazena hmota zavěšená na pružině. Pokud tuto hmotu uvedeme do pohybu, tak bude kmitat kolem své rovnovážné polohy. Trajektorii hmoty lze popsat pomocí sínusové funkce.



Obr. 1 Princip a parametry vibrací

| | | |
|----------------------|--------------------------------|-----|
| Efektivní hodnota: | $0,707 \cdot \text{amplituda}$ | (1) |
| Rozkmit (Peak-Peak): | $2 \cdot \text{amplituda}$ | |

Mezi výchylkou, rychlostí a zrychlením vibrací lze přecházet dle vztahů:

$$\begin{aligned}y &= \int v \, dt && [\mu m] \\v &= \frac{dy}{dt}, \quad v = \int a \, dt && [mm.s^{-1}] \\a &= \frac{dv}{dt} && [m.s^{-2}, g]\end{aligned} \tag{2}$$

Přičemž: a = zrychlení vibrací, v = rychlost vibrací, y = výchylka vibrací.

1.1.2 Typy vibrodiagnostiky

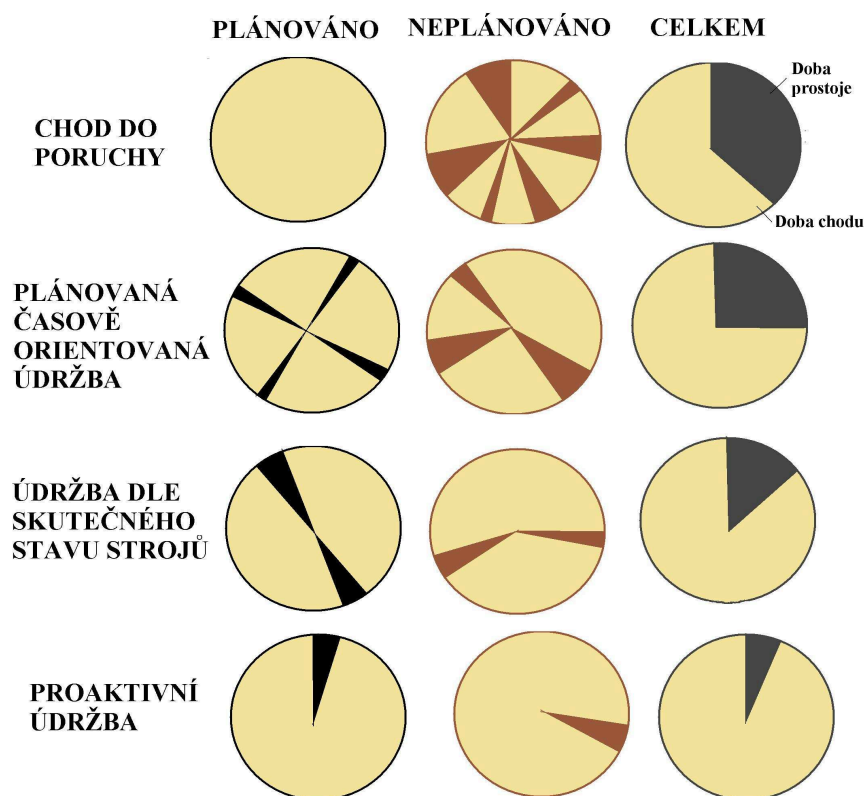
Strojní inspekce je charakterizována pravidelnými prohlídkami (typu vizuální prohlídka, měření vibrací apod.), které provádí a zaznamenává provozní pracovník. Zpravidla se uskutečňuje denně.

On-line monitorovací systém nám dává skutečný a aktuální obraz o technickém stavu daného zařízení. Právě ta aktuálnost je velmi důležitá. Mnohdy mezi vznikem vady a poruchou (až destrukcí) stroje není výrazná časová prodleva. Sběr dat a vyhodnocování probíhá nepřetržitě.

Off-line diagnostikou nemusím progresivní vznik (průběh) vady vůbec zachytit, a tak dojde rovnou k jejím projevům. Z hlediska časového horizontu mluvíme o sběru dat z měřících míst 1 až 2x měsíčně.

1.1.3 Typy údržby

Na obrázku 2 je znázorněn vztah údržby, doby prostoje a chodu u jednotlivých typů údržby. Vibrační diagnostika je používána u údržby podle skutečného stavu a proaktivní údržby.



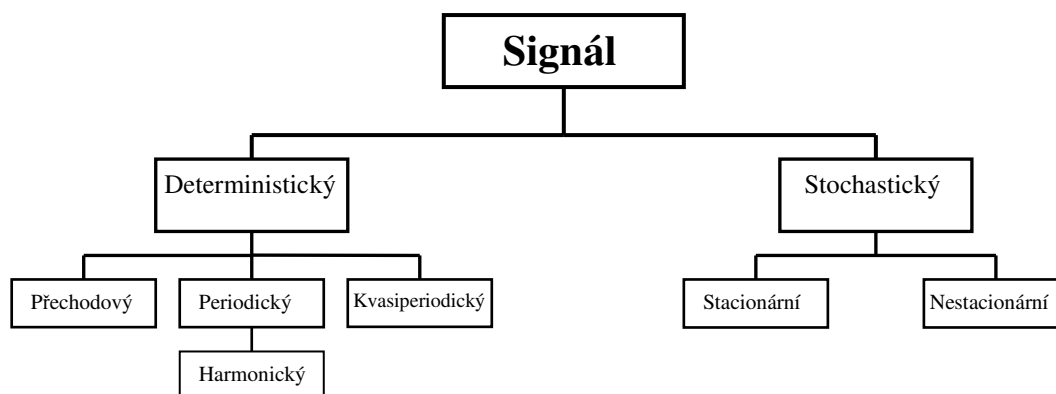
Obr. 2 Vztah typu údržby a doby prostojů

1.2 Vibrodiagnostický signál a jeho zpracování

Vibračním signálem a jeho zpracováním se zabývá norma ČSN ISO 18431 – 1. Tato norma například definuje matematické transformace vibrací a rázů do tvarů, které jsou vhodné z hlediska jejich vyhodnocování a porovnávání.

1.2.1 Rozdělení vibračního signálu

Vibrační signál můžeme rozdělit podle několika hledisek. Nejčastější klasifikace vibračního signálu je dle náhodnosti jeho průběhu, což je patrné z obrázku 3.



Obr. 3 Rozdělení signálu podle náhodnosti průběhu [1]

Z obr. 3 je patrné, že signál může být deterministický nebo stochastický (náhodný). Deterministický signál je tvořen matematickou funkcí, což nám umožňuje jeho předvídatelnost pro libovolný čas dopředu. Respektive, signál se chová vždy stejně a v každém jeho kroku je jednoznačně definován i krok následující. Jedním z deterministických signálů je signál periodický – harmonický. Jedná se o sinusovou funkci s neměnnou amplitudou, počáteční fází a frekvencí. Její matematický popis je:

$$x_{(t)} = A \cdot \cos(\Phi_{(t)}) \quad , \quad \Phi_{(t)} = 2\pi f t + \varphi \quad (3)$$

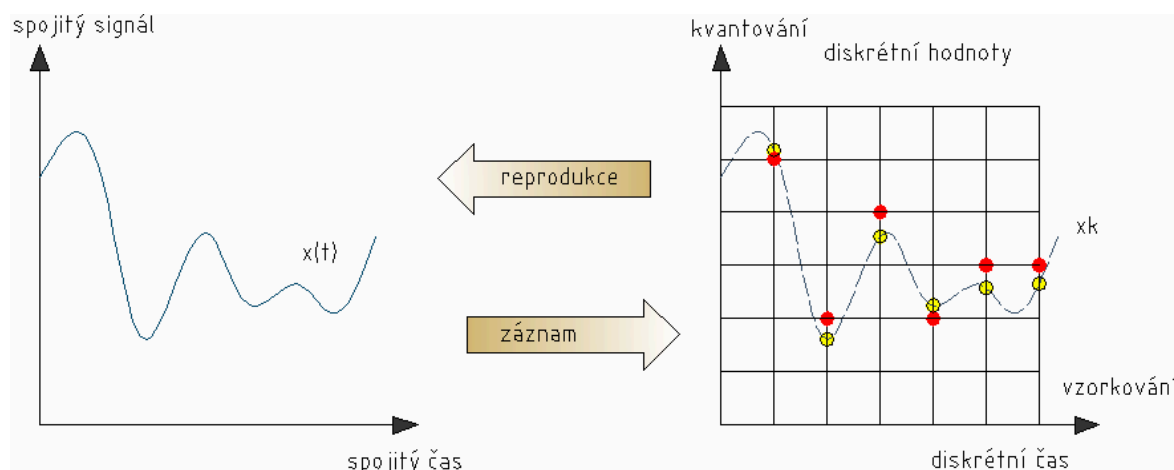
| | |
|--|-------|
| A.....amplituda | [mm] |
| ffrekvence | [Hz] |
| tčas | [s] |
| φpočáteční fáze (t = 0s) | [rad] |
| Φfáze | [rad] |

Stochastický signál nelze přesně předvídat. Rozdělujeme jej na stacionární a nestacionární. Přičemž nestacionární signál s časem mění své vlastnosti, na rozdíl od signálu stacionárního.

Při praktickém měření se vždy setkáme se signálem, který bude kombinací různých druhů výše vyjmenovaných signálů spolu s náhodným šumem. Rozeznáváme dva druhy náhodného šumu. Bílý šum (white noise), jehož výkon je rozprostřen v pásmu měření rovnoměrně, a růžový šum s nerovnoměrným výkonem v pásmu měření.

1.2.2 Vzorkování a kvantování signálů

Signály zaznamenávané během reálného měření jsou analogovými signály. To znamená, že jsou spojité v čase a mohou nabývat nekonečného počtu hodnot. Takový signál je ovšem nevýhodný pro jeho další zpracování v číslicových počítačích, jenž mají omezenou kapacitu paměti. Tudíž bez vzorkování a kvantování signálu by jejich další zpracování pomocí výpočetní techniky nebylo možné.



Obr. 4 Vzorkování a kvantování

Velmi zjednodušeně řečeno si můžeme vzorkování představit jako rozdělení časové osy x na určitý počet kvantovaných vzorků. Získáme tak množinu diskrétních bodů s intervalem odpovídajícím frekvenci vzorkování. Je zřejmé, že vzorkováním signálu ztratíme mnoho detailů z původního analogového signálu.

Kvantování pak bude přiřazení zaokrouhlené hodnoty signálu každému ze vzorků (počítače pracují s omezenou pamětí, z toho důvodu je třeba nekonečně přesnou analogovou hodnotu zaokrouhlit). Nebo-li nahrazujeme přesný analogový signál posloupností kvantovaných vzorků. Pro určení, jaké hodnoty má nabývat kvantovaný vzorek, musíme rozdělit prostor kolem jednotlivých hodnot tolerančními pásy. Když vzorek zapadne do daného tolerančního pásu, pak mu bude přiřazená daná hodnota. Z tohoto procesu kvantování jednoznačně vyplývá určitá nepřesnost, která je znázorněna na obr. 4 (žluté hodnoty jsou původní a červené hodnoty jsou zaokrouhlené). Celý proces vzorkování a kvantování je taktéž schématicky znázorněn na obr.4.

Tento přechod mezi analogovým a digitálním (číslicovým) signálem (záznam) nám zprostředkovávají A/D převodníky. Zpětný převod (reprodukcí) umožňují D/A převodníky.

1.2.3 Kvantizační šum

Jak již bylo naznačeno v kapitole 1.3, ve výpočetní technice nelze zaznamenat signál s naprostou přesností. Vzniká tak rozdíl mezi původní a kvantovanou hodnotou, tomuto rozdílu říkáme kvantizační či zaokrouhlovací šum, který se aditivně přidává ke skutečným hodnotám signálu. Zaokrouhlovací šum lze znázornit, vyneseme-li velikosti chyb jednotlivých vzorků do grafu. Velikost šumu se obvykle vyjadřuje jako poměr užitečného signálu k šumu S/N_{dB} a uvádí se v dB. Přičemž maximální teoretický poměr m bitového A/D převodníku je:

$$S / N_{dB} = 6,02m + 1,76 \text{ dB} \quad [dB] \quad (4)$$

1.2.4 Převodníky

Převodník je elektronické zařízení, které umožňuje převod mezi analogovým a digitálním signálem, přičemž vstupním signálem bývá nejčastěji napětí. Při volbě převodníku se sledují parametry jako:

1. Vstupní rozsah.
2. Vzorkovací frekvence.
3. Rozlišení (počet bitů).
4. Rychlost vzorkování atd.

Počet bitů je velmi důležitý údaj, čím vyšší počet bitů bude daný převodník mít, tím vyšší bude jeho rozlišení a přesnost převodu. Jestliže zvolíme počet bitů rovno m , pak bude dynamický rozsah pro střídavý signál od -2^{m-1} do $2^{m-1}-1$. Na výstupu převodníku bude počet hodnot roven 2^m (zahrnuje i 0). Rozlišení dnes vyráběných převodníků se pohybují od 8 bitů až po 24 bitů. Pro signálové analyzátory používáme rozsah 12 – 24 bitů. Pro

měření vibrací používáme jen $\Sigma-\Delta$ převodníky, nebo karty pro dynamická měření. Tyto převodníky mají nejvyšší rozlišení (nejvyšší přesnost) a nepotřebují antialiasingový filtr, protože daná filtrace je součástí principu jeho činnosti.

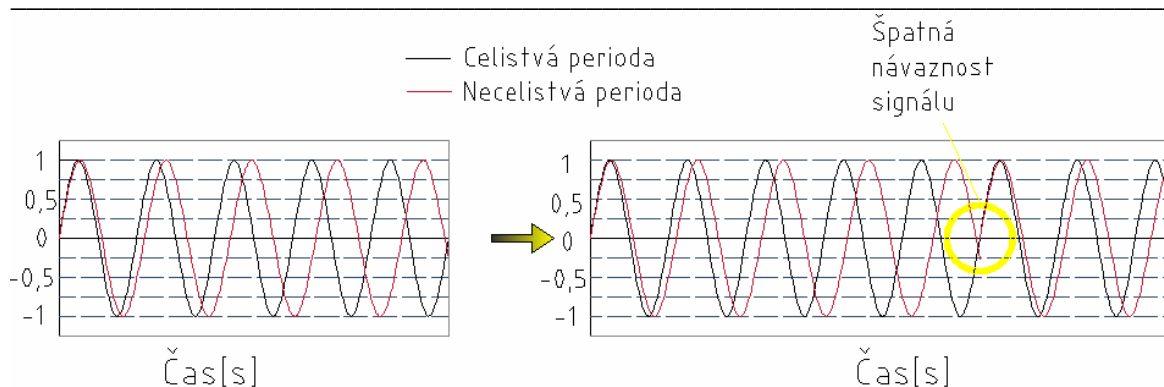
1.2.5 Aliasing

Aliasing je nežádoucí jev, který může nastat při vzorkování analogového signálu. A to pokud se bude v původním analogovém signálu vyskytovat frekvence vyšší, než je polovina vzorkovací frekvence (říkáme jí Nyquistova frekvence), pak podle Shannon – Kotelnikova teorému dojde k nevratnému poškození signálu (aliasingu). Aliasingu lze zabránit, budeme-li frekvence vyšší než Nyquistova frekvence zachycovat pomocí dolnoproustného filtru (antialiasingového filtru), který zařadíme před A/D převodník.

1.2.6 Časová okna

Představme si vzorek, nějakou časovou vlnu signálu, kterou budeme vzorkovat. Pokud tento vzorek nebude obsahovat celý počet cyklů, může dojít k tzv. úniku. Důsledkem bude rozmazání špiček ve frekvenční oblasti, protože vzorek nepřesně reprezentuje časovou vlnu, ze které byl vyňat. Těmto únikům lze zabránit použitím časového okna, které tyto úniky koriguje. Nejběžnějšími a nejčastěji používanými okny jsou :

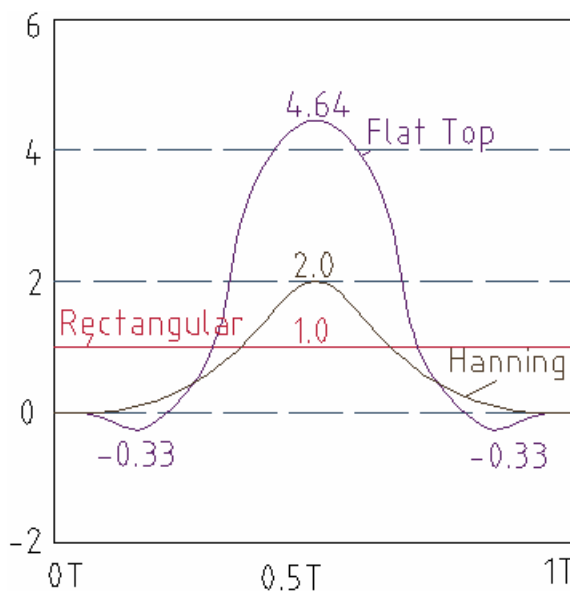
1. **Hanningovo okno** – používáme, pokud nemáme žádné informace o snímaném signálu (nejčastěji používané)
2. **Flat Top okno** – používáme při kalibraci např. piezoelektrických akcelerometrů
3. **Rectangular (obdélníkové) okno (nebo žádné okno)** – používáme tehdy, máme-li informace o měřeném signálu (počet period harmonických složek musí být celočíselný)



Obr. 5 Návaznost signálů

Z obr. 5 je zřejmá plynulá návaznost signálu s celistvým počtem period (4 Hz) a nenávaznost signálu s necelistvým (4,5 Hz) násobkem period. Po FFT dojde ke zkreslení spektra, čemuž zabráníme použitím vhodného časového okna.

Jak použití jednotlivých oken ovlivňuje signál je na obr. 6. Například použijeme-li časové okno Flat Top, pak je vidět, že začátek a konec signálu je utlumen, přičemž jeho středová část je posílena.



Obr. 6 Časová okna

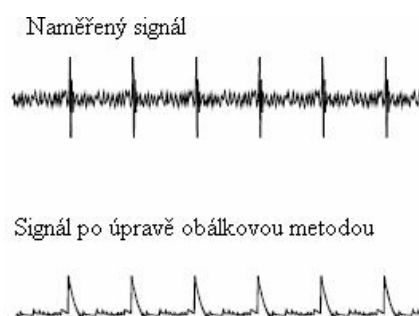
1.2.7 Průměrování spektra

Při diagnostice strojního zařízení je snímáný signál složen z mnoha harmonických složek a šumu (šum má náhodný průběh). Pro analýzu takového signálu použijeme Hanningovo okno s nulovým, polovičním či 2/3 překrytím. Při nulovém překrytí dojde u Hanningova okna ke snížení efektivní váhy signálu na okrajích k nule a umocnění efektivní váhy signálu uprostřed (obr. 6). Optimální volba překrytí pro průměrování je 2/3, efektivní váha je pro toto překrytí konstantní. V praxi necháme vzorek průměrovat tak dlouze, než se nám vyhladí pozadí spektra. Pokud budeme vzorek průměrovat 10x, zvýšíme tím přesnost měření cca 3x. Pokud budeme průměrovat 100x, pak výsledek bude 10x přesnější.

1.2.8 Obálková metoda

Metoda analýzy obálek se velmi hojně používá při detekci vady na ložiscích. A to z důvody mnohem větší přehlednosti spektra obálky oproti spektru naměřeného signálu. Touto metodou jsme schopni indikovat samotnou degradaci ložiska, a dále jsme schopni říci, která část ložiska této degradaci podlehla.

Princip celé metody spočívá v zachycování rázových impulsů v časové oblasti, které vznikají průchodem valivého elementu přes vadu na jeho oběžné dráze. Takový vstupní signál upravíme pomocí vysokofrekvenčního filtru (jeho úkolem je odfiltrout nízkofrekvenční kmity, které souvisí s např. špatnou montáží ložiska, nesouosostí, vůlemi...) a obálkového detektoru (vyhladí signál). Na takto upravený časový průběh aplikujeme FFT analýzu. Proces obálkové metody je znázorněn na obr. 7.



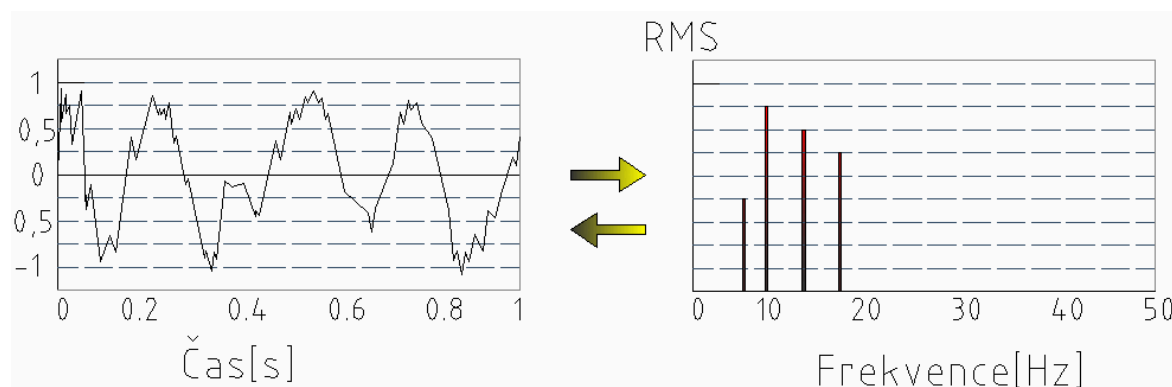
Obr. 7 Obálková metoda [17]

1.2.9 FFT – Rychlá Fourierova transformace

Fourierova transformace patří k základním nástrojům pro analýzu naměřeného signálu. Její pomocí jsme schopni přechodu z časové oblasti do oblasti frekvenční (obr.8). To znamená, že na vodorovné ose již nebude časová doména, ale najdeme na ní frekvenční doménu. Takové spektrum je mnohem výhodnější pro signály složené z několika harmonických signálů o různé frekvenci a doprovázené šumem. Ve frekvenčním spektru se tedy lépe orientujeme a má pro nás vyšší vypovídací schopnost.

V praxi se pracuje se vzorkovaným časovým průběhem. Proto je používána diskrétní Fourierova transformace DFT. Zde je ve vzorci nahrazen integrál konečným součtem prvků, tak jak je konečný i počet vzorků signálu.

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{j2\pi nk}{N}}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (5)$$



Obr. 8 Frekvenční a časová doména spektra

1.3 Snímače vibrací

Snímače jsou obecně zařízení pro sběr informací. Snímače vibrací jsou pak zařízení, které snímají diagnostický signál sledovaného prvku v podobě vibračního signálu.

Jedná se tedy o snímání mechanického pohybu, v měřeném bodě, kolem rovnovážné polohy. Snímače umístíme na první místo v měřícím řetězci (obr 9).



Obr. 9 Měřící řetězec [8]

1.3.1 Základní parametry snímačů

U snímačů vibrací je třeba znát pojmy jako:

Citlivost snímače: Jedná se o poměr elektrického signálu ke zrychlení.

Dynamický rozsah snímače: Horní mez je dána mechanickou pevností snímače a dolní mez je dána šumem elektrických obvodů.

Frekvenční rozsah snímače: Horní hranice je dána vlastní frekvencí snímače a dolní mez je určena frekvencí použitého předzesilovače.

1.3.2 Základní rozdělení snímačů

Snímače můžeme dělit dle několika hledisek, a to dle principu činnosti:

1. Pasivní - princip převodu malého posuvu na elektrický signál
 - INDUKČNOSTNÍ SNÍMAČE
 - KAPACITNÍ SNÍMAČE
 - ODPOROVÉ SNÍMAČE
2. Aktivní – přímá přeměna energie mechanické na elektrickou energii, pro svou činnost potřebují vnější zdroj napětí

-
- TERMOELEKTRICKÉ SNÍMAČE
 - PIEZOELEKTRICKÉ SNÍMAČE
 - INDUKČNÍ SNÍMAČE

Dle vstupních signálů:

- SNÍMAČE MECHANICKÝCH VELIČIN
- SNÍMAČE ZÁŘENÍ
- SNÍMAČE CHEMICKÝCH VELIČIN
- SNÍMAČE TEPELNÝCH VELIČIN ATD.

Snímače vibrací rozdělujeme:

- SNÍMAČE VÝCHYLKY – Jsou bezdotykové sondy, ty nejpoužívanější pracující na principu vířivých proudů. Elektromagnetické pole cívky protékané střídavým proudem generuje vířivé proudy v elektricky vodivých tělesech. Vířivé proudy působí pomocí magnetického pole zpět na cívku a ovlivňují elektrický výkon obvodu. Snímače mají velké rozměry a hmotnost, jejich využitelné frekvenční pásmo je silně omezené cca od 0 do 1000 Hz a výchylka od 0,4 mm do 2,9 mm.
- SNÍMAČE RYCHLOSTI – Seismické zařízení generující napěťový signál mechanické vibrační rychlosti tělesa. Jsou konstrukčně složitější a mají vyšší hmotnost. Frekvenční rozsah je cca 10 až 2000 Hz.
- SNÍMAČE ZRYCHLENÍ – Akcelerometry

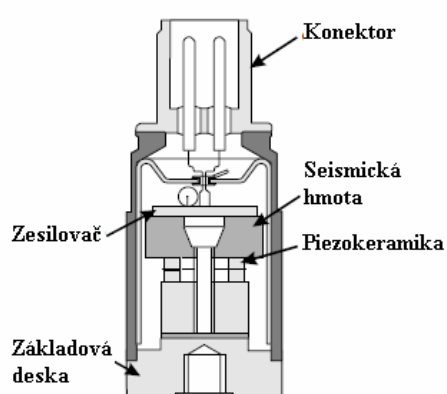
1.3.3 Akcelerometry

Akcelerometry patří mezi nejpoužívanější snímače vibrací spolu se snímači MEMS.

Akcelerometr (obr. 10,11,12) je tvořen seismickou hmotou, která stlačuje piezokrystalický výbrus. Ten při deformaci (výbrus je namáhán na smyk nebo je stlačován, dle konstrukce) generuje elektrický náboj úměrný zrychlení vibrací. Tento náboj

je velice malý. Z tohoto důvodu je nutné použití předzesilovače. Dosáhneme tak vysokých elektrických signálů i při malých zrychleních. Součástí dodávky snímače je kalibrační křivka přenosových vlastností i údaj o jeho citlivosti (jaký náboj vznikne při jednotkovém zrychlení). Čím vyšší bude citlivost akcelerometru, tím spolehlivěji bude pracovat v nízkých frekvencích. Negativem vysoké citlivosti je vyšší hmotnost snímače.

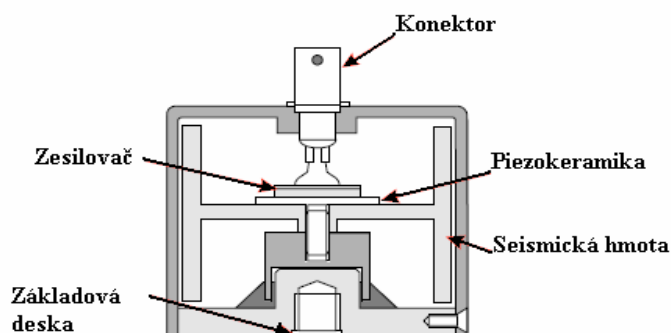
Tlakový akcelerometr



- Robustní konstrukce
- Velký rozsah
- Teplotní vliv

Obr. 10 Tlakový akcelerometr [10]

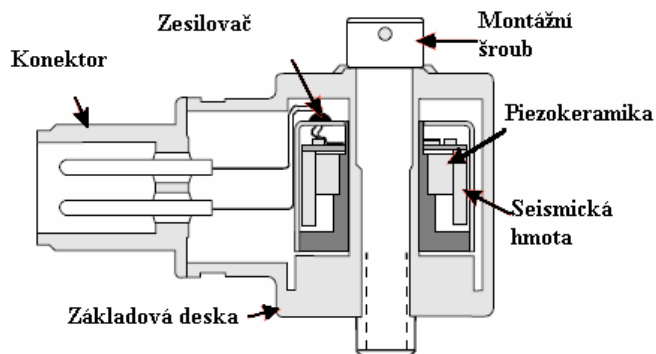
Ohybový akcelerometr



- Velmi nízké frekvence
- Citlivý na nárazy

Obr. 11 Ohybový akcelerometr [10]

Smykový akcelerometr



➤ Malý teplotní vliv

➤ Nízký profil

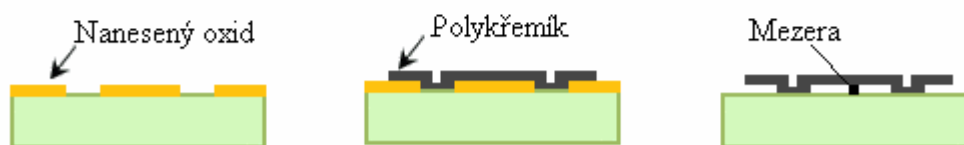
Obr. 12 Smykový akcelerometr [10]

1.3.4 Snímače MEMS

MEMS, nebo-li mikro–elektro-mechanický systém je označení samotné technologie výroby, ale i produktů pomocí ní vyrobených. Produkty se skládají ze čtyř základních částí umístěných na křemíkovém základu:

1. Mikro snímačů
2. Mikro akčních členů
3. Mikro elektroniky
4. Mikro struktury

Při jejich výrobě se používá mikroobráběcích procesů (obr. 13), které vyleptávají části křemíkového základu nebo přidávají nové vrstvy a tím vytváří mechanická, či elektromechanická zařízení.

Objemové mikrozpracování**Povrchové mikrozpracování**

Obr. 13 Mikrozpracování [11]

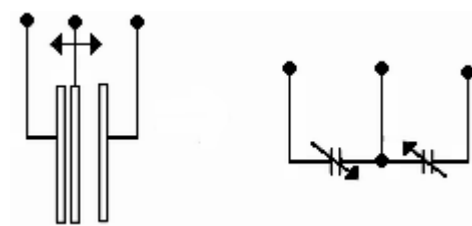
Za „mozek“ celého systému (produktu) jsou považovány mikroelektrické integrované obvody, které systém řídí následujícím způsobem:

- Senzory sledují své okolí a získávají z něj potřebné informace (tepelné, optické, magnetické, chemické ...).
- Elektronika informace zpracuje a pomocí akčních členů vytváří zásahy ovlivňující sledované okolní prostředí.

Rozměrově se pohybujeme od 1 mikronu až po jednotky milimetrů. Jejich uplatnění je velice široké a najdeme je téměř ve všech odvětvích průmyslu. Jejich vysoce sofistikovanou výrobní technologií dosahujeme velmi vysoké úrovně funkčnosti a spolehlivosti při poměrně nízké ceně.

Mechanická struktura MEMS akcelerometru

Funkce akcelerometrů MEMS je obecně založena na proměnné kapacitě třídeskového vzduchového kondenzátoru. Princip činnosti spočívá na nelineární závislosti kapacity na vzdálenosti desek kondenzátoru. Jedna z desek kondenzátoru musí být pohyblivá (obr. 14), přičemž její pohyb je závislý na působícím zrychlení.

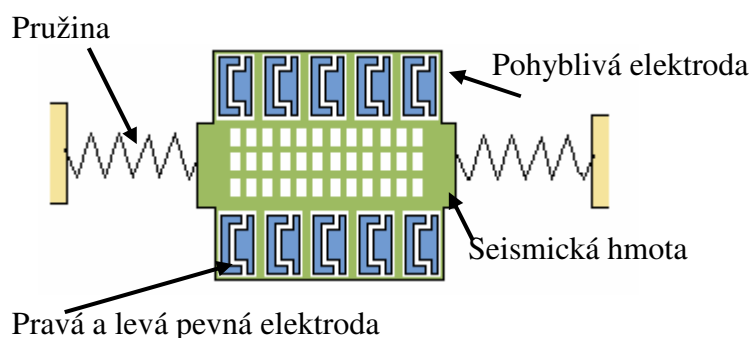


Obr. 14 Kondenzátory MEMS akcelerometru [13]

Finální struktura je ovšem poměrně složitější. Jejím hlavním úkolem je zajistit lineární a dostatečně citlivý převod zrychlení na mechanický posuvný pohyb. Ten totiž určuje výsledný měřicí rozsah MEMS akcelerometrů.

Vycházíme přitom z 2. Newtonova zákona $F = m \cdot a$, kde F je síla vyvolaná zrychlením působícím na seismickou hmotu m . Sílu pomocí pružin, jejíž některé části tvoří pohyblivé desky vzduchového kondenzátoru, převedeme na posuv nosníčku. Nosníčková struktura spolu s pružinami jsou vyrobeny leptáním polykrystalického křemíku.

Výše popsaná struktura akcelerometru (znázorněna na obr. 15) umožňuje měření zrychlení pouze v jednom směru. Chceme-li měřit například ve dvou směrech, pak musíme na chip přidat totožnou strukturu otočenou o 90° proti předchozí struktuře.



Obr. 15 Znázornění mechanické struktury MEMS

Elektrická struktura MEMS akcelerometru

Celá elektronika MEMS akcelerometru, jejímž úkolem je převést naměřenou změnu kapacity na změnu napětí a na výstup přivést již standardní lineární napět'ový signál, je umístěna pod snímacím elementem. K měření kapacity se používá metody spínaných kondenzátorů řízených číslicovou logikou a generátorem hodinového signálu. Tímto způsobem je docíleno převodu změny kapacity na změnu napětí. Napět'ový signál je dále linearizován, filtrován a kompenzuje se u něj vliv teploty. Ve finále získáme lineární, zesílený a kompenzovaný napět'ový signál s definovanou citlivostní konstantou převodu. To je informace o tom, o kolik se musí změnit hodnota snímaného zrychlení, aby se výstupní napětí změnilo o 1 V. U 2D a 3D akcelerometrů se vše provádí pro každou osu samostatně.

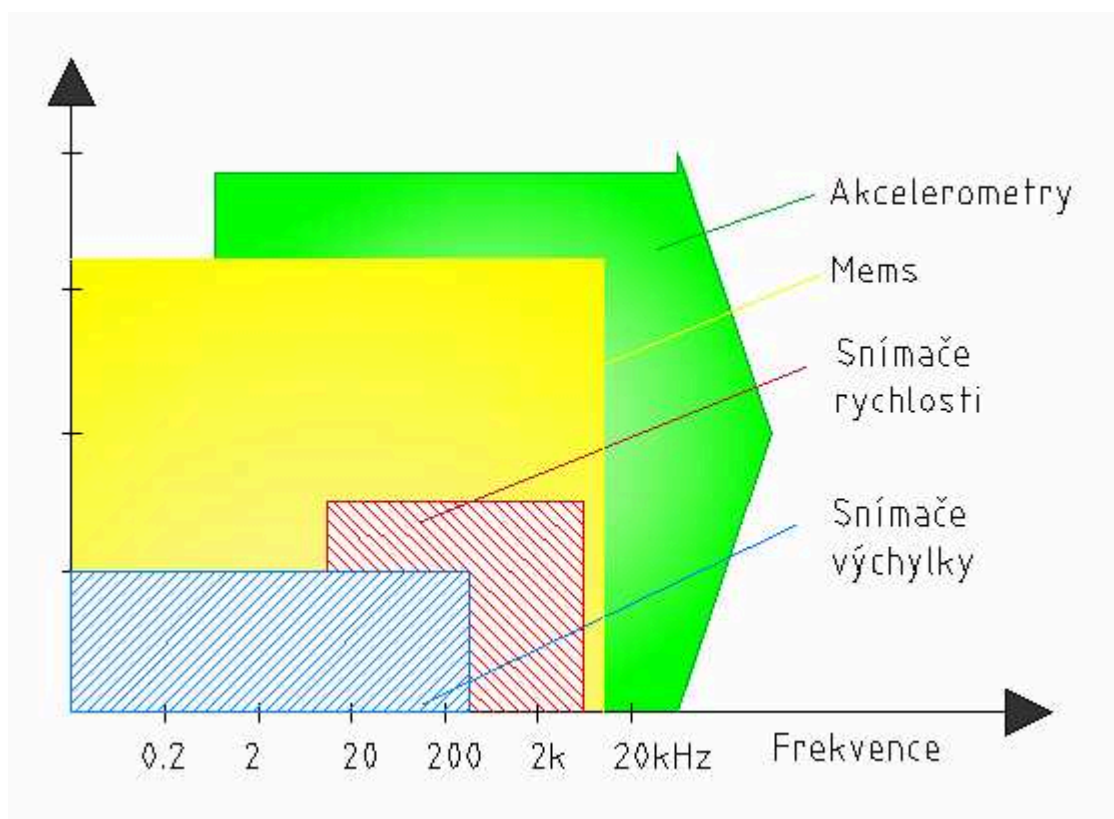
1.3.5 Frekvenční rozsah a uchycení snímačů

Největší frekvenční rozsah mají bezesporu akcelerometry, následují snímače rychlosti a na posledním místě jsou snímače výchylky. Není nutné tuto tematiku dále rozebírat. Je zcela zřejmá z obrázku 16.

Snímače musí být uchyceny (namontovány), co nejblíže měřenému místu. Pokud to bude např. ložisko, bylo by nejlepší snímat vibrace přímo na něm, to ovšem není možné, tak snímač umístíme na ložiskový domek co nejblíže ložisku. Povrch pod snímačem musí být čistý, nejlépe bez jakýchkoliv nátěrů, rzi a maziv. Uchycení je možné provést pomocí včelího vosku, magnetu, lepidlem, šroubovaného spoje. Měření vibrací je možné provést také dotykem pomocí měřicího hrotu. Volba, jaké uchycení snímače zvolíme, závisí na mnoha faktorech:

- Akcelerometr musí konat shodný pohyb, jako vykonává konstrukce, na které je připevněn.
- Akcelerometr nesmí ovlivňovat pohyb konstrukce.
- Připevnění musí být maximálně pevné a tuhé.

- Signál z akcelerometru nesmí být zkreslen blízkostí rezonanční frekvence dané způsobem přichycení akcelerometru.
- Hmotnost akcelerometru musí být vůči hmotnosti měřené konstrukce zanedbatelná.
- Minimum zkreslujících pohybů vlivem akcelerometru.
- Připevňovací moment je roven momentu doporučenému.
- Věnujeme velkou pozornost pečlivému uchycení kabeláže.



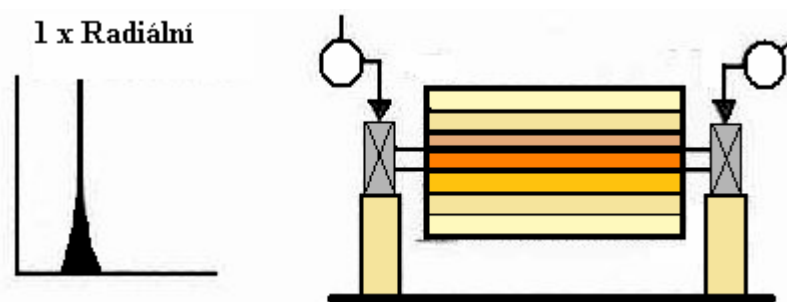
Obr. 16 Rozsah snímačů dle snímané veličiny

1.4 Analýza závad strojů

Při analýze závad strojů pomocí vibračního signálu nám může pomoci Berryho tabulka. V ní jsou uvedeny základní poruchy spolu s ukázkou spekter, která tyto poruchy vyvolají.

Nevývaha

Nejčastějším typem nevývahy je nevyváženost dynamická, která je kombinací statické a momentové nevyváženosti. Jak se projeví ve spektru je na obrázku 17.



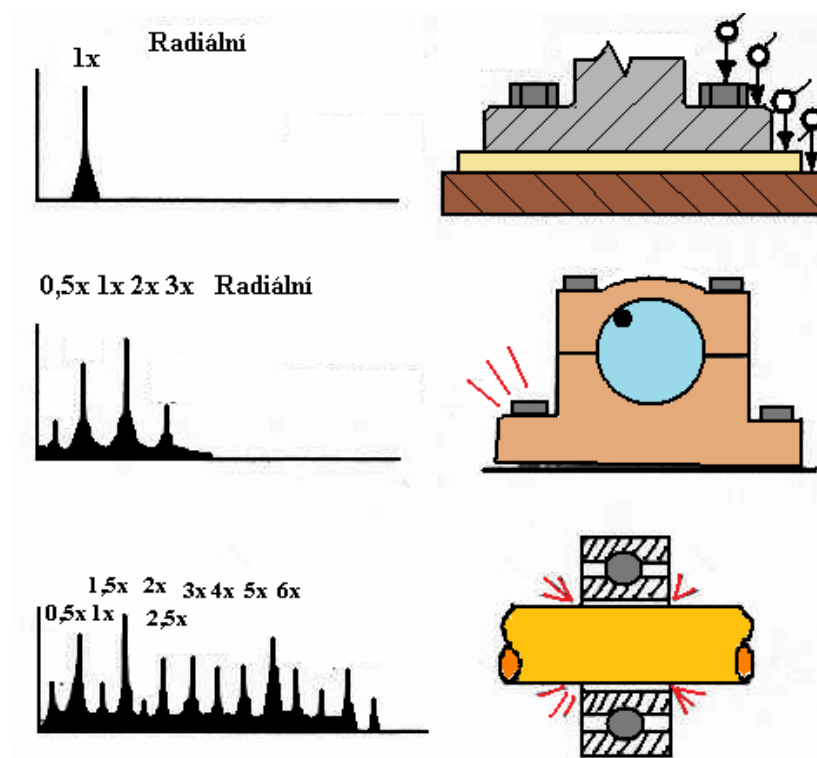
Obr. 17 Nevývaha

Uvolnění

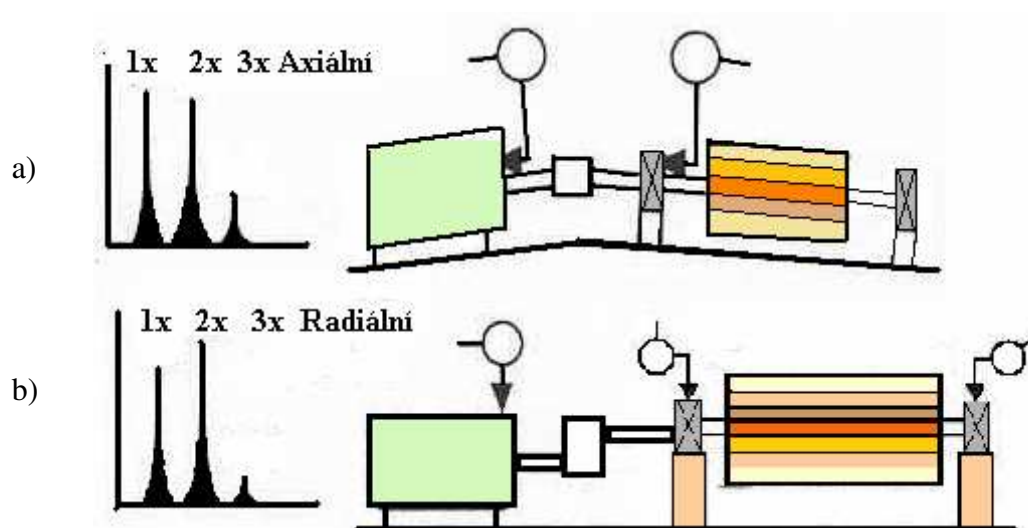
Rozeznáváme několik typů uvolnění. Jsou vyobrazeny na obrázku 18 spolu s jejich projevem ve spektru.

Nesouosost

Nesouosost může být úhlová či paralelní (posunutí). Jak se projeví ve spektru je na obrázku 19.



Obr. 18 Uvolnění



Obr. 19 Nesouosost a) úhlová, b) paralelní

Ložiska

Při diagnostice ložisek se soustředíme především na poruchové frekvence daného ložiska. Tyto frekvence si můžeme vypočítat, nebo je zjistíme z katalogu či různých databází. Jak probíhá celá degradace ložiska v čase je patrné z obrázku č. 21.

Poruchová frekvence vnitřního kroužku:

$$f_{BPFI} = \frac{n}{2} \cdot \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right) \cdot fr. \quad [\text{Hz}] \quad (5)$$

Poruchová frekvence vnějšího kroužku:

$$f_{BPFO} = \frac{n}{2} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right) \cdot fr. \quad [\text{Hz}] \quad (6)$$

Poruchová frekvence valivého tělíska:

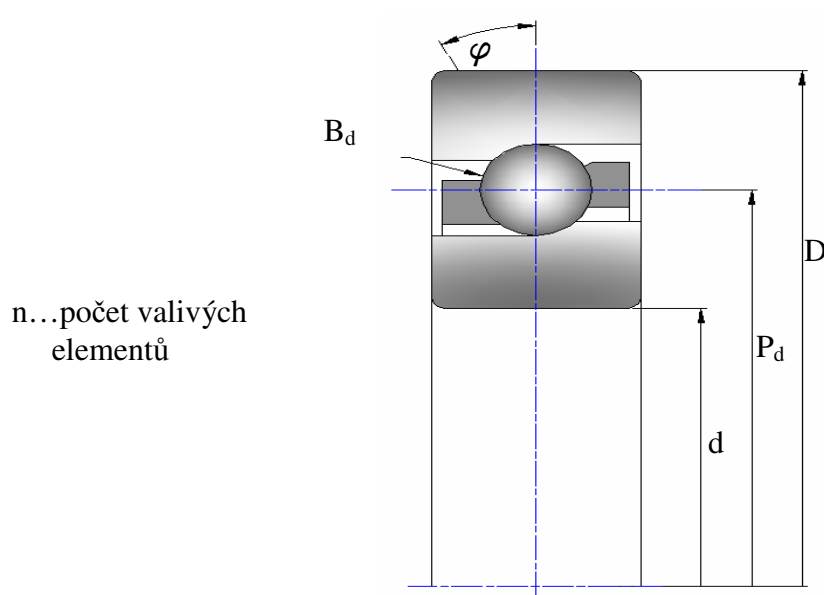
$$f_{BSF} = \frac{P_d}{2 \cdot B_d} \cdot \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right)^2 \right] \cdot fr. \quad [\text{Hz}] \quad (7)$$

Poruchová frekvence klece:

$$f_{FTF} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right) \cdot fr. \quad [\text{Hz}] \quad (8)$$

| | | |
|---------------|------------------------------|------|
| n... | počet valivých elementů | [-] |
| Bd... | průměr valivého tělesa | [mm] |
| Pd... | střední průměr ložiska | [mm] |
| d... | vnitřní průměr ložiska | [mm] |
| D... | vnější průměr ložiska | [mm] |
| fr... | rotorová frekvence | [Hz] |
| φ ... | hel uložení valivého tělíska | [°] |

Vysvětlení vzorců je na obrázku 20.



Obr. 20 Ložisko

Stupně poškození ložiska:

STUPEŇ 1: Nepoškozené ložisko

- Oběžná dráha valivého tělíska je bez poškození.
- FFT neobsahuje žádné poruchové frekvence.
- H-FFT neobsahuje žádné poruchové frekvence.
- a_{peak} (špičkové zrychlení v časové oblasti) je na hodnotě TEACH-IN.

STUPEŇ 2: Vznik poškození ložiska (opotřebení)

- Oběžná dráha valivého tělíska je mírně opotřebovaná.
- FFT neobsahuje žádné poruchové frekvence.
- H-FFT obsahuje zvýšené hodnoty poruchových frekvencí bez harmonických a subharmonických složek.
- a_{peak} je na velmi nízkých hodnotách.

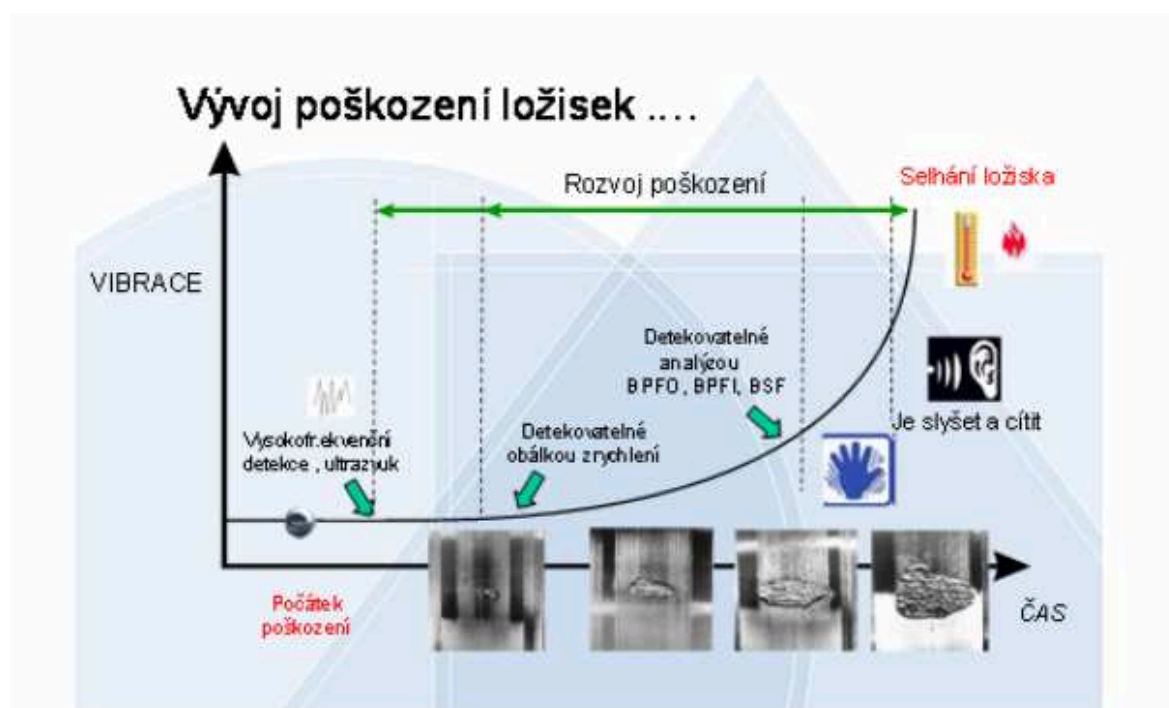
STUPEŇ 3: Rozšířené poškození ložiska (opotřebení)

- Oběžná dráha je viditelně poškozena.

- V FFT se začínají objevovat poruchové frekvence.
- H-FFT obsahuje zvýšené hodnoty poruchových frekvencí bez harmonických a subharmonických složek.
- a_{peak} má hodnoty s velkými výchyly.

STUPEŇ 4: Pokročilé poškození ložiska

- Oběžná dráha je vážně poškozena spolu s valivými elementy, vnitřním i vnějším kroužkem.
- FFT obsahuje zvýšené hodnoty poruchových frekvencí a jejich harmonických složek.
- H-FFT obsahuje zvýšené hodnoty poruchových frekvencí s výskytem harmonických a subharmonických složek.
- a_{peak} má hodnoty s velmi vysokými výchyly. Poškození ložiska je identifikovatelné smysly (je slyšet, má vysokou teplotu atd.).



Obr. 21 Postupná degradace ložiska a metody jejího zjištění [12]

1.5 Normy pro hodnocení vibrací

Jako reakce na rozmanitost strojů, jejich používání a spolehlivost provozu vznikla řada norem. Vybrané se vztahem k této práci jsou uvedeny v tabulce 1. Kontrola, zda-li jsou normy aktuální proběhla dne 9.2.2011.

| |
|--|
| ČSN ISO 2041 (011400), Vibrace, rázy monitorování stavu – Slovník |
| ČSN ISO 5348 (356860), Vibrace a rázy – Mechanické připevnění akcelerometrů |
| ČSN ISO 10816 - 1 (011412), Vibrace – Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 1: Všeobecné směrnice |
| ČSN ISO 10816-2 (011412), Vibrace – Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 2: Parní turbíny a generátory nad 50 MW na pozemních základech s normálními pracovními otáčkami 1 500 min ⁻¹ , 1 800 min ⁻¹ , 3 000 min ⁻¹ a 3 600 min ⁻¹ |
| ČSN ISO 10816-3 (011412), Vibrace – Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 3: Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15 kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 min ⁻¹ a 15000 min ⁻¹ při měření <i>in situ</i> |
| ČSN ISO 10816-4 (011412), Vibrace – Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 4: Soustrojí poháněná plynovou turbinou s výjimkou leteckých pohonných jednotek |
| ČSN ISO ISO 10816-5 (011412), Vibrace – Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 5: Soustrojí ve vodních elektrárnách a čerpacích stanicích |
| ČSN ISO 10816 (011412), Vibrace – Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 6: Stroje s vratným pohybem se jmenovitým výkonem nad 100 kW |
| ČSN ISO 7919-1 (011414), Vibrace strojů s nevratným pohybem – Měření na rotujících hřídelích a kritéria hodnocení – Část 1: Všeobecné směrnice |
| ČSN ISO 7919-2 (011414), Vibrace – Hodnocení vibračních strojů na základě měření na rotujících hřídelích – Část 2: Parní turbíny a generátory nad 50 MW na pozemních základech s normálními pracovními otáčkami 1 500 min ⁻¹ , 1 800 min ⁻¹ , 3 000 min ⁻¹ a 3 600 min ⁻¹ |
| ČSN ISO 7919-3 (011414), Vibrace strojů s nevratným pohybem – Měření na rotujících hřídelích a kritéria hodnocení – Část 3: Průmyslová soustrojí |
| ČSN ISO 7919-4 (011414), Vibrace strojů s nevratným pohybem – Měření na rotujících hřídelích a kritéria hodnocení – Část 4: Plynové turbíny |
| ČSN ISO 7919-5 (011414), Vibrace strojů s nevratným pohybem – Měření na rotujících hřídelích a kritéria hodnocení – Část 5: Soustrojí ve vodních elektrárnách a čerpacích stanicích |

Tabulka 1 Přehled vybraných norem pracujících s vibracemi

1.5.1 Kritéria hodnocení vibrací

Obecná kritéria hodnocení vibrací udává norma ČSN ISO 10816-1(011412). Hodnocení rozdělujeme do dvou kritérií. První kritérium bere v úvahu velikost širokopásmových vibrací, druhé kritérium je zaměřeno na změnu velikosti vibrací bez ohledu na to, zda- li dojde ke zvětšení či zmenšení.

1. Kritérium – velikost vibrací

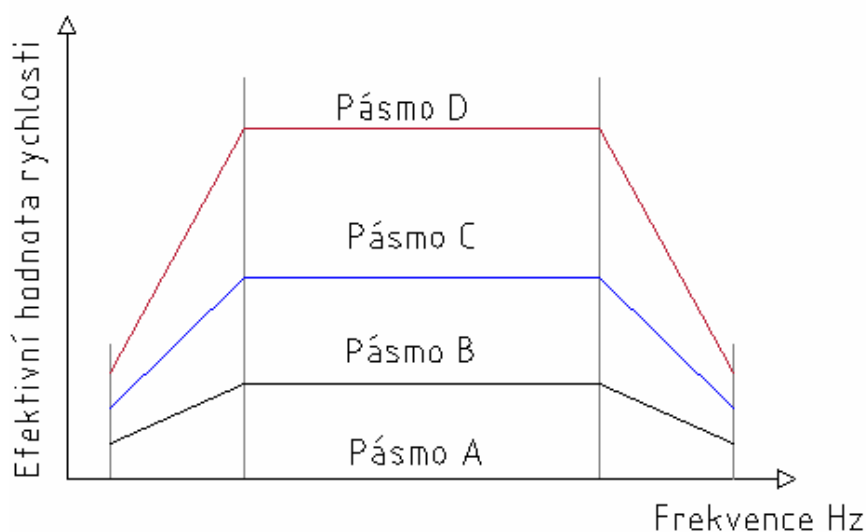
Předem se definují přípustné meze vibrací daného strojního dílu, či jeho částí. Posuzujeme nejvyšší naměřenou hodnotu vibrací tzv. mohutnost vibrací. Danou mohutnost zařadíme do hodnotícího pásma (A až D) dle obr. 22.

A - Spadají zde obvykle nové, zánovní stroje.

B - Spadají zde stroje, jejichž vibrace jsou přípustné, dané strojní zařízení může být bez obav v provozu bez omezení.

C - Stroje vykazující vibrace náležící tomuto pásmu mohou být zpravidla provozovány po omezenou dobu, tzn. než se naskytne vhodná příležitost k opravě. Stav stroje je nevyhovující.

D - Při této úrovni vibrací může dojít k poškození stroje a ohrožení okolí. Doporučená je okamžitá odstávka strojního zařízení a následná oprava.



Obr. 22 Hodnocení vibrací dle 1. kritéria [4]

2. Kritérium – změna velikosti vibrací

Dá se říci, že se jedná o hlídání změny vibrací vůči referenční hodnotě vibrací, ať už je změna postupná nebo okamžitá.

Také se v normě doporučuje stanovit provozní meze (především dlouhodobého provozu) mající charakter **výstrahy** nebo **přerušení provozu**. Hodnotu výstrahy stanovíme jako poměr referenční hodnoty vibrací ku meze pásma B. Hodnota přerušení provozu bude logicky definována v pásmu C nebo D.

Hranice jednotlivých pásem jsme schopni vyčíst z tabulky 2. Hodnota hranice je závislá na typu strojního zařízení a efektivní hodnotě rychlosti vibrací

Třída 1 – Spadají zde jednotlivé části strojů a motorů, které jsou nedílně spojené s celým strojem za standardních podmínek provozu (např. elektromotory s výkonem do 15 kW).

Třída 2 – Zde patří středně rozměrné stroje bez zvláštních základů (např. el. motory s výstupním výkonem 15 kW až 75 kW), dále pevně připevněné motory a stroje s vlastním základem a výkonem až do 300 kW.

Třída 3 – Velké motory a stroje s rotujícími hmotami a na vlastních pevných a těžkých základech, které jsou ve směru měření vibrací relativně tuhé.

Třída 4 – Stejně jako předchozí s rozdílem v relativně měkkých základech vzhledem ke směru měření vibrací (např. turbogenerátory s výkonem na výstupu vyšším než 10 MW)

| Efektivní hodnota rychlosti vibrací mm/s | Třída I | Třída II | Třída III | Třída IV |
|--|---------|----------|-----------|----------|
| 0,28 | A | A | A | A |
| 0,45 | | | | |
| 0,71 | | | | |
| 1,12 | B | B | B | B |
| 1,8 | | | | |
| 2,8 | C | C | C | C |
| 4,5 | | | | |
| 7,1 | D | D | D | D |
| 11,2 | | | | |
| 18 | | | | |
| 26 | | | | |
| 45 | | | | |

Tabulka 2 Typické hranice pásem [4]

2 Analýza současného stavu

Je zcela zřejmé, že o moderní výrobní linky obsahující velice sofistikované výrobní stroje je třeba náležitě pečovat. Touto péčí rozumíme zvyšování provozní spolehlivosti celého systému, které je dosahováno vysokou provozní spolehlivostí klíčových výrobních strojů. Provozní spolehlivost je vlastnost složená z dílčích ukazatelů jako jsou bezporuchovost, udržitelnost, provozuschopnost a mnohých dalších.

Velmi vysoké nároky na výrobu a strojní spolehlivost nutí údržbu ubírat se cestou on-line diagnostiky. Tento směr je zřejmý především u již zmíněných klíčových výrobních strojů daného provozu. Stává se nedílnou součástí provozu, aniž by tento provoz jakkoliv narušovala. Neznamená to ovšem, že by on-line systémy měly vytěsnit off-line diagnostiku. Ta se stále používá a troufnu si říci, že se i nadále bude používat tam, kde z jakéhokoliv důvodu on-line diagnostiku není možné implementovat (z cenových důvodů, montážní náročnosti a dalších).

On-line diagnostika je „drahý“ způsob (náklady na pořízení jsou vysoké, ovšem z dlouhodobého hlediska se ukáží být minimální) monitorování technického stavu, ale získané informace jsou k nezaplacení. Jsou totiž aktuální (okamžité), což umožňuje maximální využití výrobního zařízení. O každé vznikající poruše jsme informováni s určitým předstihem a můžeme tak docílit maximální produkce a minima poruchových prostojů. Využitím informačních technologií při on-line diagnostice nám umožňuje nejen zařízení sledovat v reálném čase, ale také zajistí ukládání trendů (historie), vyhodnocení snímaných diagnostických signálů a v neposlední řadě nastavení a hlídání alarmů.

Nesmím zapomenout zmínit se o tom, že s bezvadným chodem strojního zařízení jde ruku v ruce také jeho bezpečnost vůči svému okolí.

2.1 Monitoring vibrací systémem octavis efector

Cena havárie strojního zařízení neustále roste. Snižuje kvalitu produktu, a tím konkurenceschopnost na volném trhu. Octavis efector je nástrojem on-line a off-line diagnostiky (obr 23). Jedná se o uživatelsky příjemný monitorovací systém používaný k vibrodiagnostice motorů, převodovek, ventilátorů, čerpadel a dalších. Analyzuje celkové hodnoty i frekvenční spektra pomocí výkonové elektroniky, která je umístěna velmi blízko měřicímu místu. Po vyhodnocení dat může vizuálně i akusticky upozornit na překročení nastavených alarmových hodnot.

Systém monitoruje veličiny jako jsou:

- Vibrace
- Otáčky
- Stav ložisek
- Technologické veličiny



Obr. 23 Systém octavis efector – on-line a pochůzka

2.1.1 Popis systému octavis efecor

Systému octavis efector (obr.24) se využívá pro on-line a off-line kontrolu stavu sledovaného objektu, parametrickou diagnostiku, ukládání trendů (historie), podrobné vyhodnocení spektra pomocí FFT. Naměřená data je možné zpřístupnit pomocí OPC serveru (OLE for Process Control). A dále zobrazit v řídicím systému technologie.

On-line monitorováním stavu je možné sledovat až 24 objektů (ložiska, nevyváženost, ozubení atd.) za pomoci 4 snímačů (VSA vibrační senzory s připojením na externí diagnostickou elektroniku) a dvou DC vstupy (otáčky, proud, atd.). Jakákoliv změna stavu může být signalizována pomocí binárních výstupů formou alarmů. Jeden z výstupů můžeme přepnout na analogový výstup a tím trvale sledovat průběh měřené veličiny.

Historii můžeme ukládat ze všech monitorovaných objektů. Systém má implementovaný reálný čas, takže jsme schopni k uloženým trendům přiřadit skutečné časové značky.

Pokud budeme vykonávat hloubkovou diagnostiku objektu v režimu FFT, pak měřené údaje mohou být zobrazovány pouze z jednoho snímače.

OPC se v současné době používá jako standard průmyslové komunikace (typ komunikace je server-klient). Jedná se o společný komunikační kanál mezi různými zařízeními určenými k monitorování a řízení technologických procesů. Jeho úkolem je zpřetrhat závislosti daného softwaru na výrobci hardwaru (vznikají jako důsledek konkurenčního boje). Jinak řečeno, vytváří pomyslnou dělící čáru mezi výrobcí softwaru a hardwaru. Tím umožňuje získávat data z různých zdrojů a přenášet je do libovolného klientského programu nezávisle na výrobci. Přínosy zavedení OPC standartu jsou tedy:

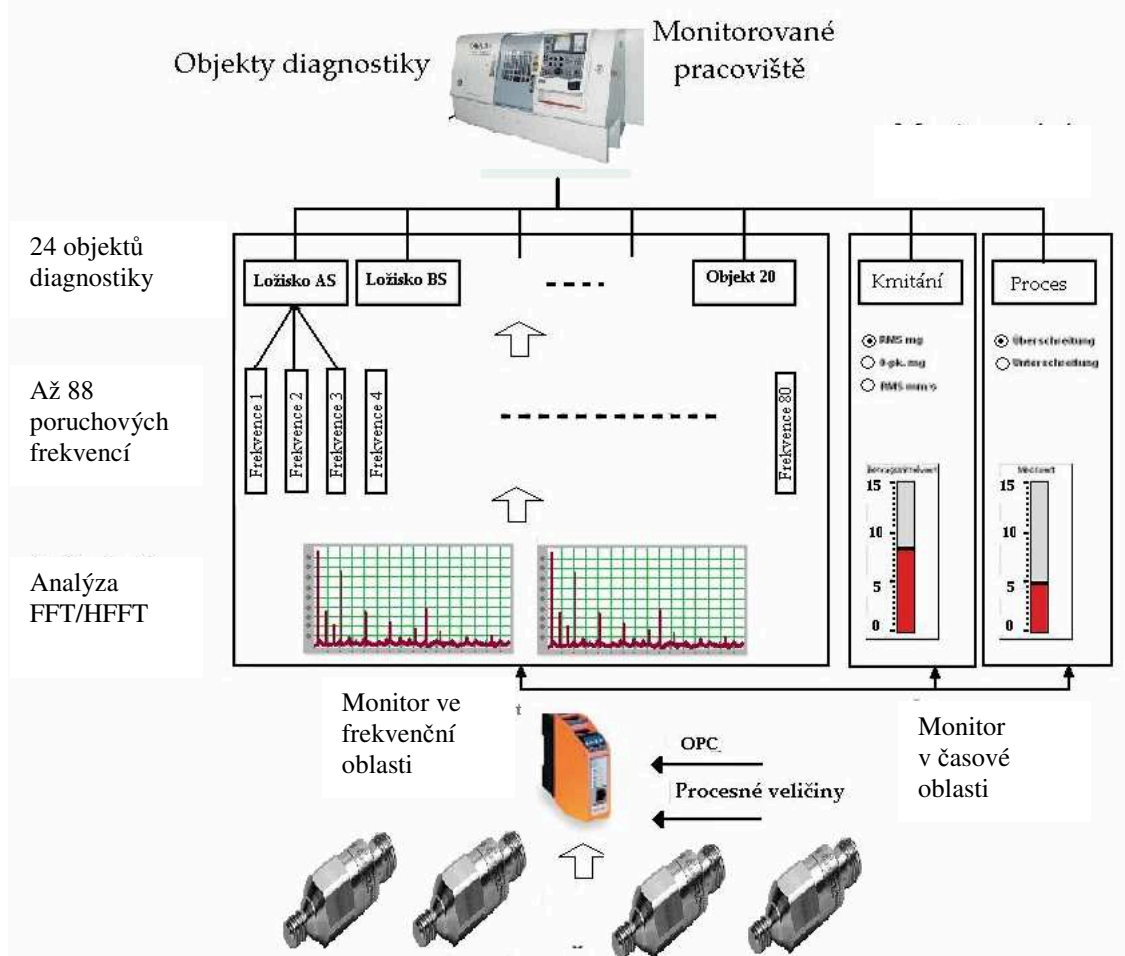
1. Výrobci hardwaru stačí pouze jeden soubor softwarových komponent pro všechny zákazníky a různé aplikace.
2. Není třeba neustále měnit software kvůli novým verzím hardwaru.
3. OPC přináší svobodu volby při výběru dodavatele HW a SW.
4. OPC rozhraní se stává standardem u sledování a řízení technologických procesů.

Kouzlem systému octavis efector je **parametrická diagnostika** (obr. 25) – jinak řečeno jedná se o monitoring předdefinovaných pásem (parametrů). Např. monitorujeme objekt, a to se uskutečňuje ve 3 pásmech :

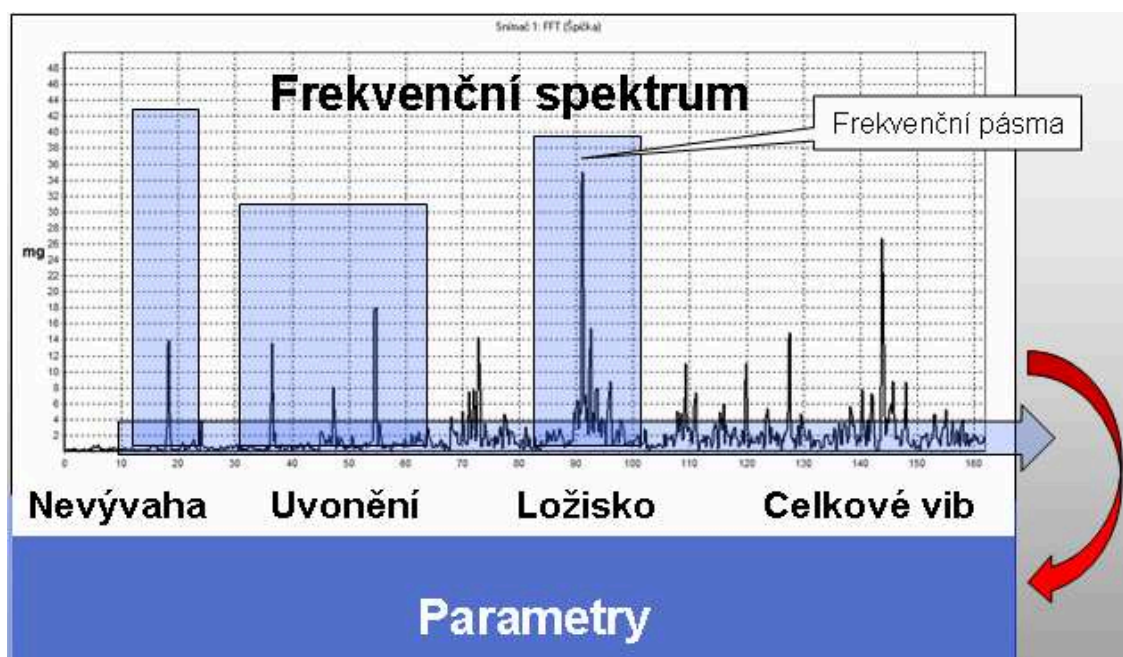
1. Nízké pásmo (do $10 \times f_{\text{OTAČKOVÁ}}$) – nevývaha, uvolnění apod.
2. Střední pásmo (od $10 \times f_{\text{OTAČKOVÁ}} - 1\text{kHz}$) – ozubení, ložiskové vady apod.
3. Vysoké pásmo (nad 1 kHz) – přidírání, počáteční poškození ložisek apod.

Rozsah těchto pásem volíme tak, aby se cca 5% překrývala. Pásmo stanovujeme zcela volně (frekvenčně i amplitudově). V každém pásmu stanovíme meze měřených veličin.

Z obrázku 25 je také patrné, že obsluha diagnostického zařízení bude schopna konstatovat poruchu monitorovaného objektu, aniž by musela mít znalosti vibrodiagnostika.



Obr. 24 Schéma systému octavis efektor verze 2.4.4 [6]



Obr. 25 Příklad sledovaných parametrů [10]

2.1.2 Vlastnosti systému octavis efector

Vzorkovací kmitočet systému octavis efector je až 100 kHz/ 4 kanály, což je 100 000 hodnot zaznamenaných za 1 sekundu. Jde o hodnoty zrychlení vibrací na nerotujících částech diagnostikovaného zařízení. Pomocí FFT si diagnostická elektronika sama vypočte zrychlení případně rychlost amplitud námi nastavených poruchových frekvencí. Na 24 různých objektech můžeme kontrolovat až 88 samostatných poruchových frekvencí. Monitorované prvky nadefinujeme pomocí počítačového programu a zapíšeme je přes ethernet rozhraní do diagnostické jednotky. Stav monitorovaného zařízení určujeme vzhledem k referenčním hodnotám.

Monitorovaný objekt s nejvyšší hodnotou může být signalizován přes spínavé výstupy. Přičemž stav poškození je signalizován barevnými LED světly umístěnými na diagnostické jednotce.

Systém octavis efector je možné implementovat na strojní zařízení s konstantními i proměnnými otáčkami. U proměnných otáček je třeba diagnostické jednotce dodat informaci o aktuálních otáčkách v podobě proudového signálu nebo jako impulzy.

Pro standardní kontrolu se doporučuje rozsah otáček mezi 120 až 96 000 ot.min⁻¹.

2.1.3 Teach – In (Referenční hodnota)

Tuto funkci najdeme v hlavním menu, jejím účelem je změřit referenční hodnoty sledovaných objektů a uložit je do diagnostické elektroniky. Další diagnostika bude vycházet z těchto hodnot (stav objektu se určuje jako násobek referenčních hodnot). Hodnoty je tedy potřebné získávat při typických podmínkách a při nepoškozeném stavu. Objekty bez nastavení auto – Teach funkce není možné v záznamu aktivovat, avšak můžeme zadat hodnoty ručně. Měření můžeme provádět pro každý objekt samostatně, nebo můžeme měřit více objektů najednou. Na ukončení Teach procesu nás upozorní zobrazení zeleného bodu u příslušného objektu.

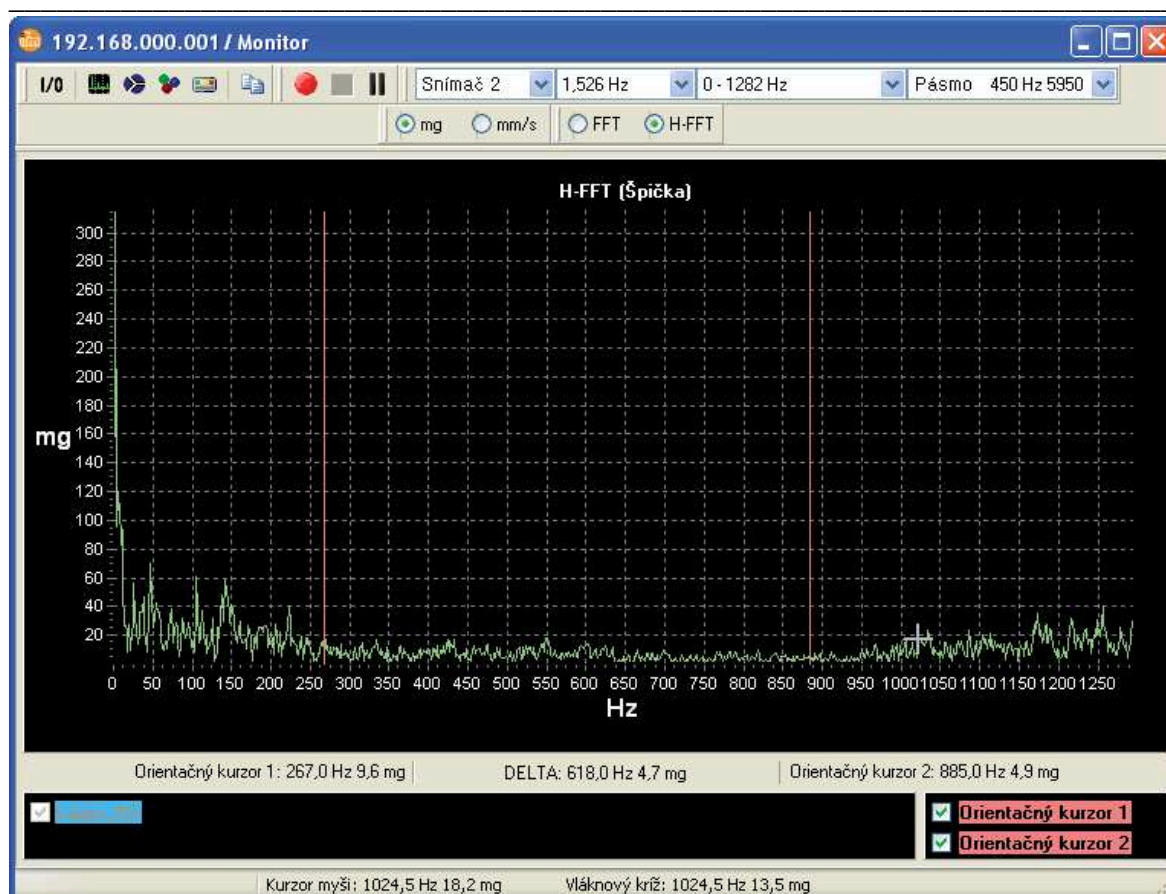
U monitorování nevyváženosti a stavu ložiska jsou referenční hodnoty již uloženy stejně jako hodnoty alarmů. Samozřejmě je můžeme manuálně upravovat a přizpůsobit procesu údržby.

2.1.4 Spektrální zobrazení

Zobrazení spektra FFT příslušného snímače lze nastavit s těmito parametry:

- Rozlišení – 800 čar
- Frekvenční pásmo
- Filtr – pro H-FFT :
 - No filter
 - Low pass filter 2950 Hz
 - Band pass filter 450 – 5950 Hz
 - Hight pass filter 1200 Hz
 - Low pass filter 1950 Hz
- Měřenou veličinu: zrychlení [mg], rychlost [mm.s⁻¹], výchylka [μ m]
- Detekce RMS, 0 - Peak
- Typ analýzy:
 - FFT spektrum
 - H – FFT spektrum

Detaily můžeme zobrazit pomocí nového rozlišení v okně. Což vykonáme standardně pomocí počítačové myši, kdy táhneme okno, do kterého bude spadat i kýžený detail. Poruchové frekvence můžeme ve spektru vyznačit červenou barvou (obr. 26).



Obr. 26 Spektrální zobrazení [6]

2.1.5 Historie a snímače

Diagnostická elektronika systému octavis má vnitřní paměť historie pro zaznamenávání naměřených hodnot. Pro její využití je třeba synchronizovat integrované hodiny s hodinami počítače.

Paměť systémů je konstruována jako kruhová. Její velikost pojme cca 30 000 hodnot s časovou značkou a údaji o otáčkách (při konstantních otáčkách je lze vynechat). V jakém intervalu budeme hodnoty zapisovat si nastaví obsluha libovolně, dle vlastní potřeby.

Pro jednoduchou práci se systémem má každý snímač vlastní název (maximálně 31 znaků). Používá se výhradně snímačů MEMS.

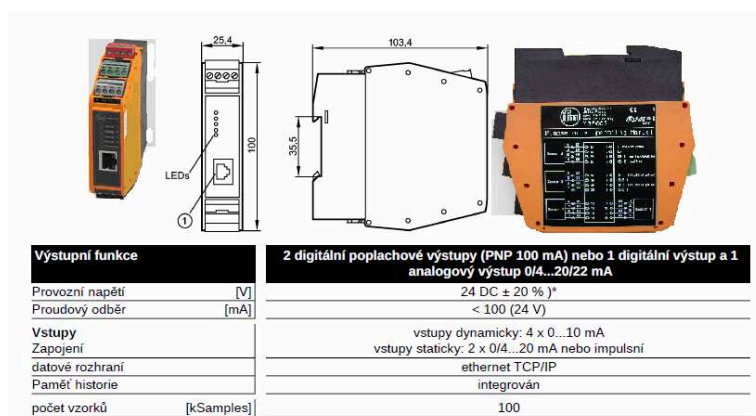
2.1.6 Objekty diagnostiky

Nejčastěji monitorovanými objekty systémem octavis efector jsou:

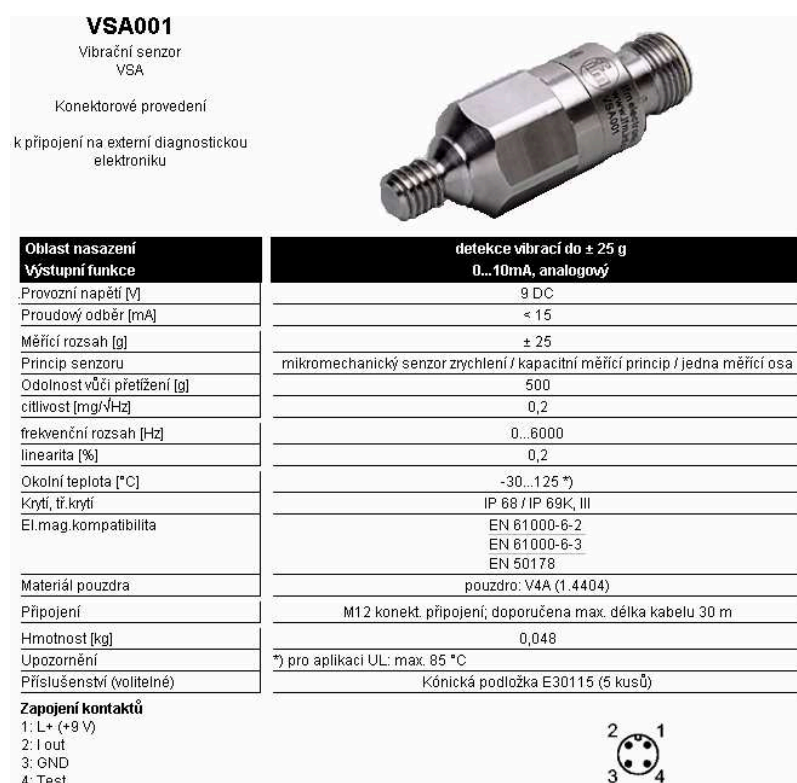
1. LOŽISKO – monitorujeme amplitudu obálky zrychlení (H-FFT) vibrací na konkrétních poruchových frekvencích (mohou být zadány z databáze ložisek, kterou systém obsahuje).
2. NEVYVÁŽENOST – monitorujeme amplitudu rychlosti vibrací na otáčkové frekvenci a její násobky. Porovnáváme s TEACH hodnotami.
3. EFEKTIVNÍ RYCHLOST VIBRACÍ – Změna efektivní rychlosti vibrací směrem nahoru je ukazatelem poškození monitorovaného objektu.
4. OSTATNÍ – zde spadá monitoring všech ostatních možných poškození sledovaného objektu (vada převodovky, kavitace, zadírání, uvolnění a další).

2.1.7 Technické specifikace

- Rozlišení je 800 čar
- Vyhodnocovací jednotka VSE 002 (obr. 27)
 - 4 kanály – možnost připojení 4 snímačů zrychlení MEMS
 - 2 procesní vstupy (teplota, otáčky atd.)
 - VSE může být připojena přes LAN switch do zobrazovacího panelu
 - Každá z jednotek VSE má svou IP adresu
 - Používá snímače VSA 001 (obr.28), VSA 002, VSA 003 a další
- Snímač VSA 001
 - Kapacitní mikromechanický senzor zrychlení vibrací (MEMS)
- Sonda otáček IF 5329 (obr. 29)



Obr. 27 Jednotka VSE 002 [12]



Obr. 28 Snímač VSA 001 [12]

IF5329

IFA3004-BPKG


Induktivní senzor

Kovový závit M12 x 1

Kabelové provedení

Spínací vzdálenost 4 mm [nb]

Nevazební vestavba



| Elektrické provedení | DC PNP |
|-------------------------------------|--|
| Výstupní funkce | Spínač |
| Provozní napětí [V] | 10...36 DC |
| Proudová zatížitelnost [mA] | 250 |
| Ochrana proti zkratu | Taktovaný |
| Odolné proti přepólování | ano |
| Odolné proti přetížení | ano |
| Úbytek napětí [V] | < 2,5 |
| Proudový odběr [mA] | < 15 (24 V) |
| Reálná spínací vzdálenost (Sr) [mm] | 4 ± 10 % |
| Pracovní vzdálenost [mm] | 0...3,25 |
| Odchylka spínacího bodu [% z Sr] | -10...10 |
| Hystereze [% z Sr] | 1...15 |
| Spínací frekvence [Hz] | 1500 |
| Korekční faktor | ocel (St37) = 1 / V2A ca. 0,7 / Ms ca. 0,4 / Al ca. 0,3 / Cu ca. 0,2 |
| Okolní teplota [°C] | -25...80 |
| Krytí, tř. krytí | IP 67, II |
| El.mag.kompatibilita | EN 60947-5-2 EN 55011: třída B |
| MTTF [letů] | 1874 |
| Materiál pouzdra | Mosaz Pokoveno bílým bronzem; aktivní plocha: PC (polykarbonát) |
| Funkční signalizace | žlutá |
| Spínací stav LED | žlutá |
| Připojení | PVC-Kabel / 2 m; 3 x 0,34 mm² |
| Hmotnost [kg] | 0,098 |
| Příslušenství (dodávané) | 2 Upevňovací matice |

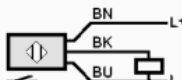
Zapojení kontaktů

Barvy vodičů

BN hnědá

BU modrá

BK černá



Obr. 29 Sonda otáček IF 5329 [12]

2.1.8 Dílčí závěr

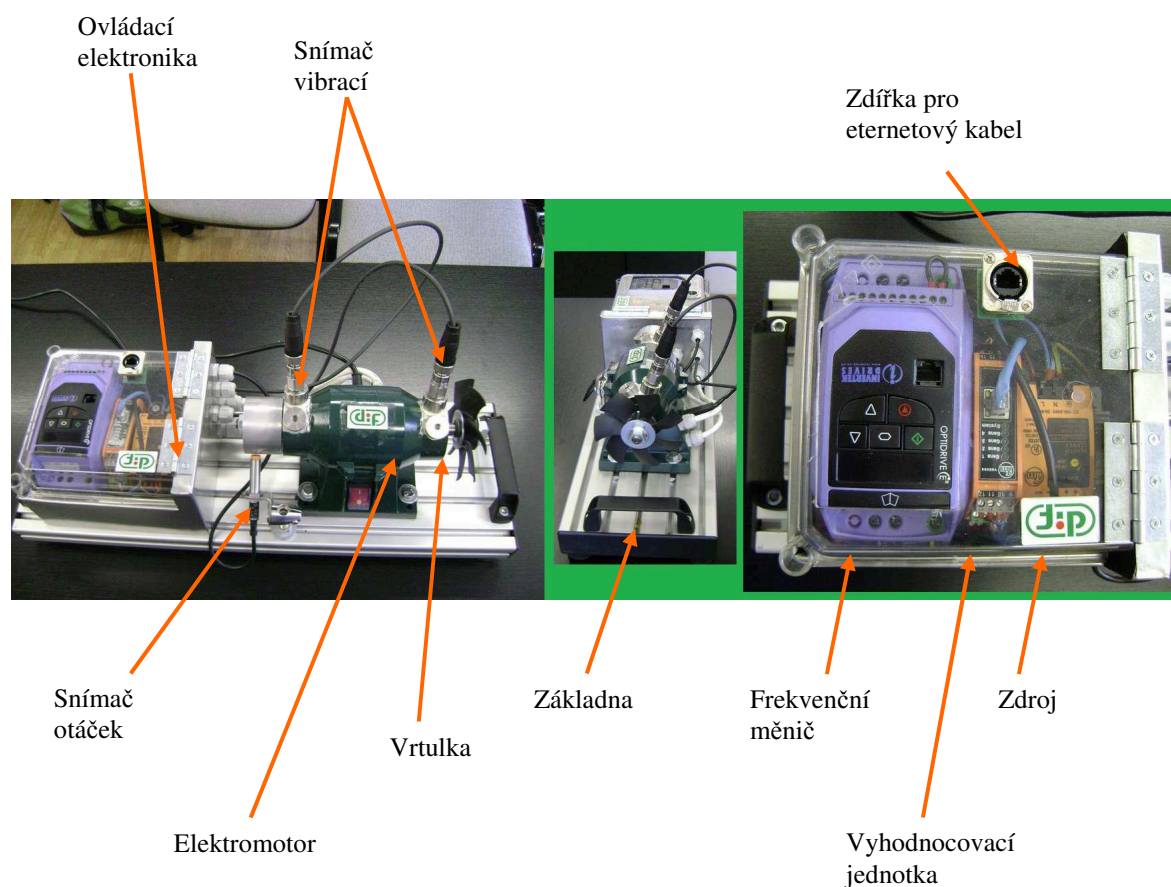
Na předchozích stránkách jsem ukázal použití a princip činnosti systému octavis efektor. Ve shrnutí se jedná o systém k monitorování (on-line či off-line diagnostice) strojního zařízení a jeho částí. Jako diagnostického signálu využívá vibrací. Při překročení nastavených mezí vibrací spustí systém automaticky alarm. Systém dává přehledná a vypovídající data i pro nevibrodiagnostika.

3. Návrh řešení – Systém octavis efector v praxi

„Sílu“ systému octavis efector budu demonstrovat na modelu zhotoveném firmou DIF s.r.o. Ukáži, jak se systém nastavuje a ovládá.

3.1 Popis modelu

Model z obrázku 30 je přenosný a obsahuje základnu, na kterou je připevněna ovládací elektronika, elektromotor s vrtulkou. Na elektromotoru jsou namontovány dva snímače vibrací VSA 001 a jeden snímač otáček.





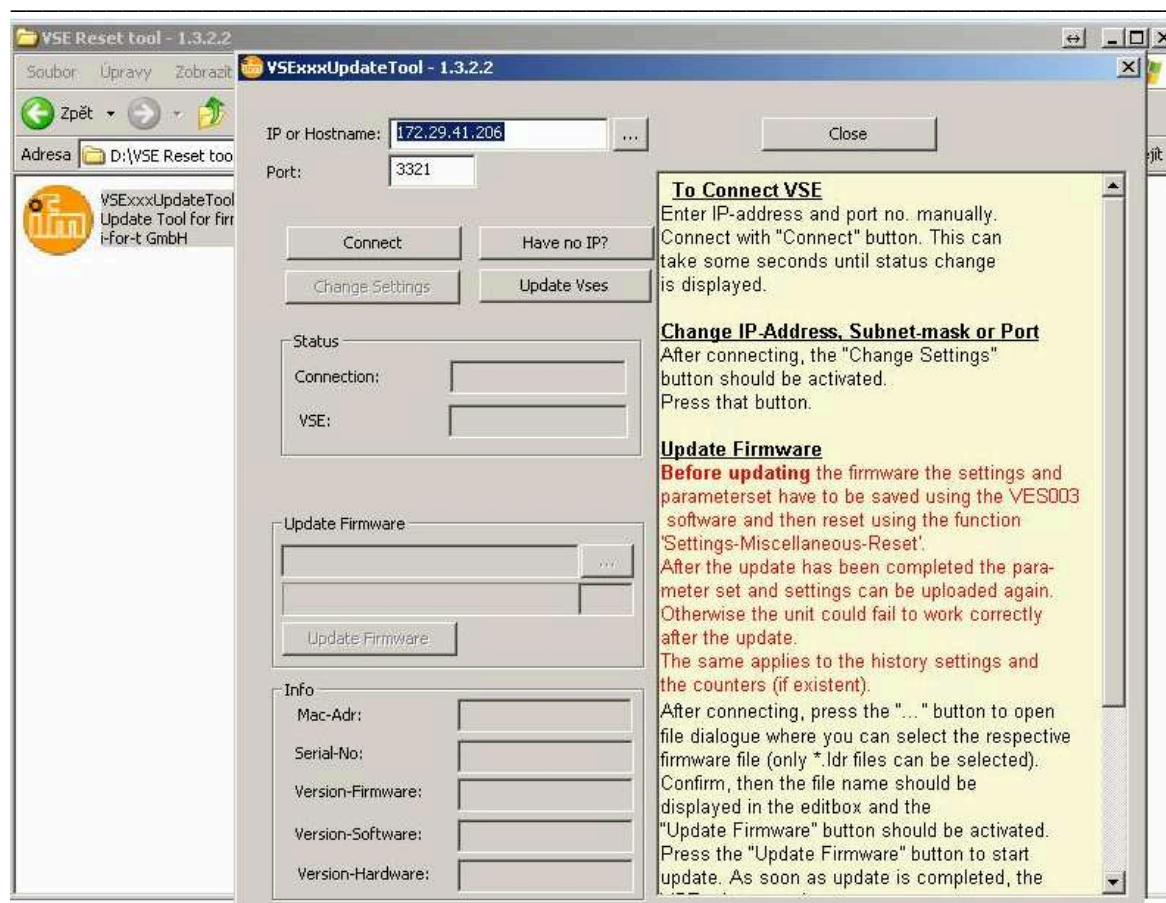
Obr. 30 Model

3.2 Nastavení systému octavis efector

Před samotným zahájením měření je třeba systém nastavit. Tzn. definovat parametry, alarmové hodnoty a další.

Nastavení systému octavis efector ukáží na dvou parametrech, a to pro monitor v časové oblasti a pro nevyváženost.

Prvním krokem ke správnému fungování systému octavis efector je nastavení IP adresy jednotky (jednotek) a počítače. Bez tohoto nastavení IP adres nedojde ke komunikaci mezi jednotkou a počítačem. IP adresu jednotky nastavím pomocí programu VSExxUpdateTool-1.3.2.2 (obr. 31).



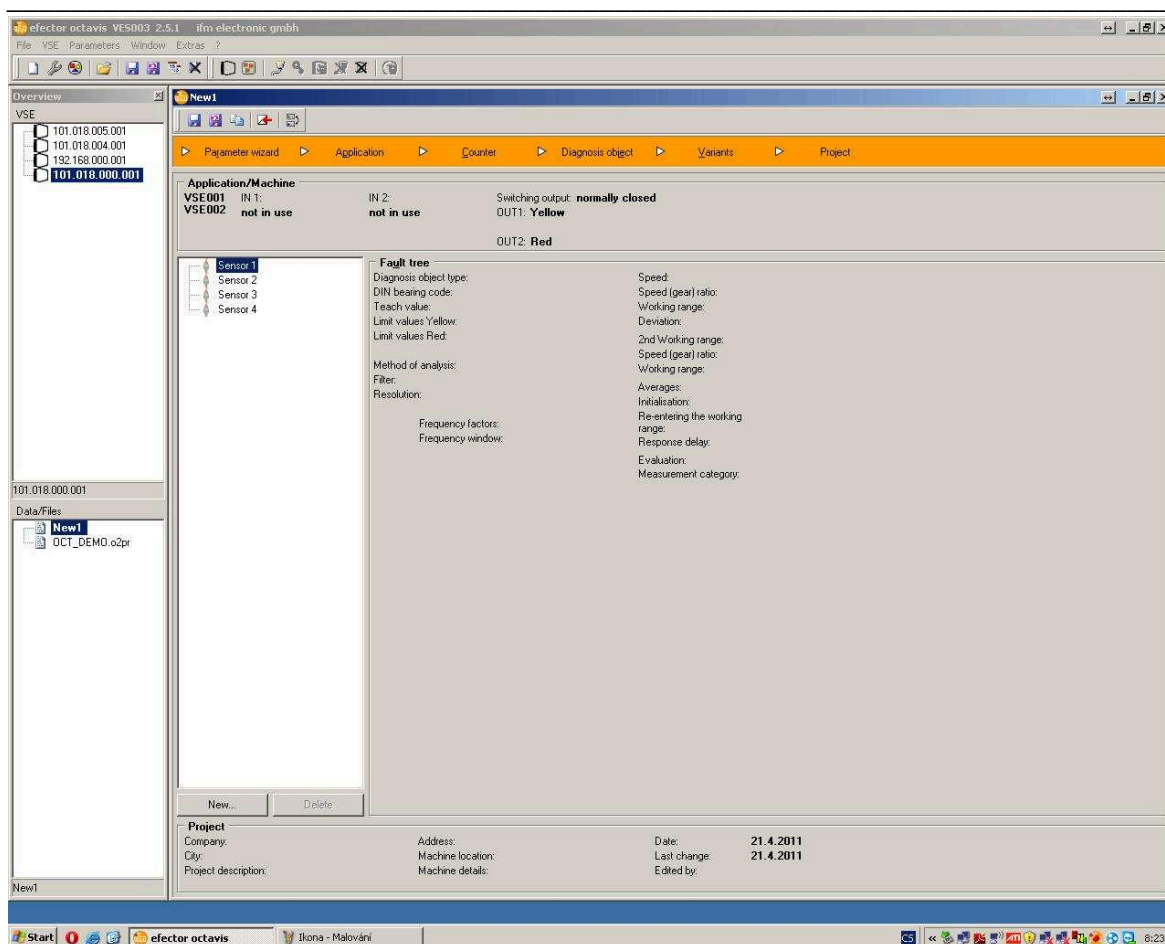
Obr. 31 Program VSExxUpdateTool-1.3.2.2

Dvojklikem na spouštěcí ikonu (obr. 32) jsem spustil hlavní obrazovku (obr. 33) programu octavis efector.

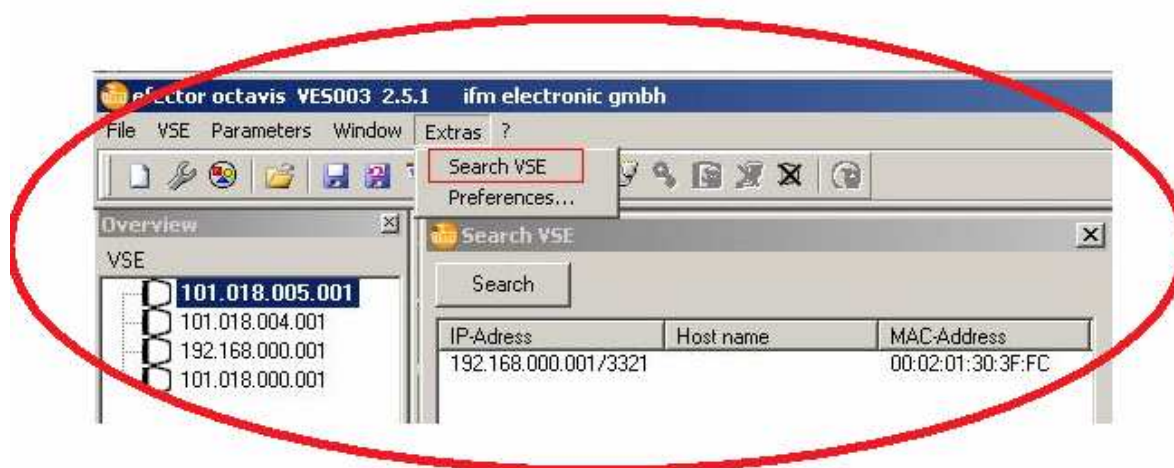


Obr. 32 Spouštěcí ikona

Po spuštění je třeba načíst VSE jednotku (obr. 34) klikem na EXTRAS =>SEARCH a jednotka se načte (připojí se k softwaru octavis).



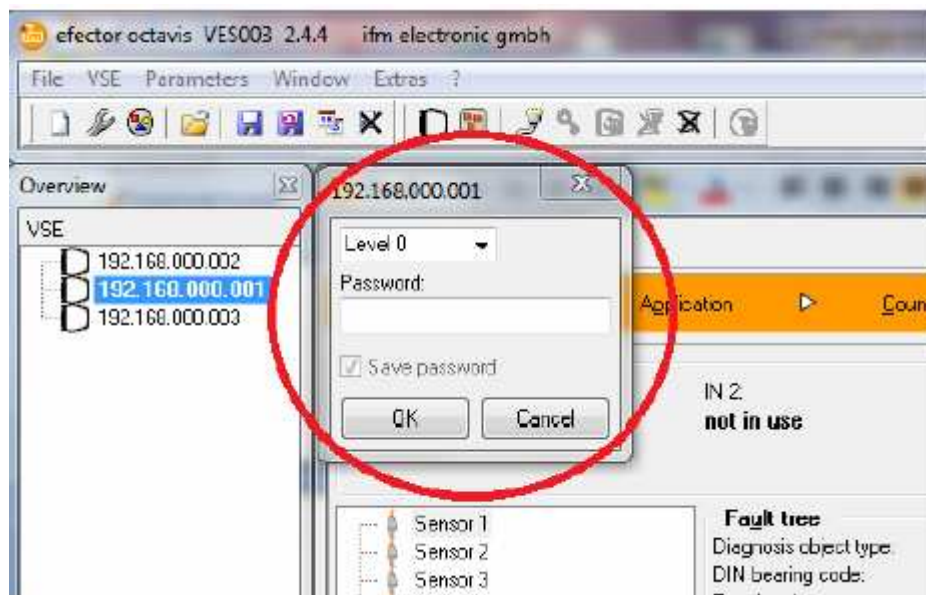
Obr. 33 Základní obrazovka po spuštění programu octavis efector



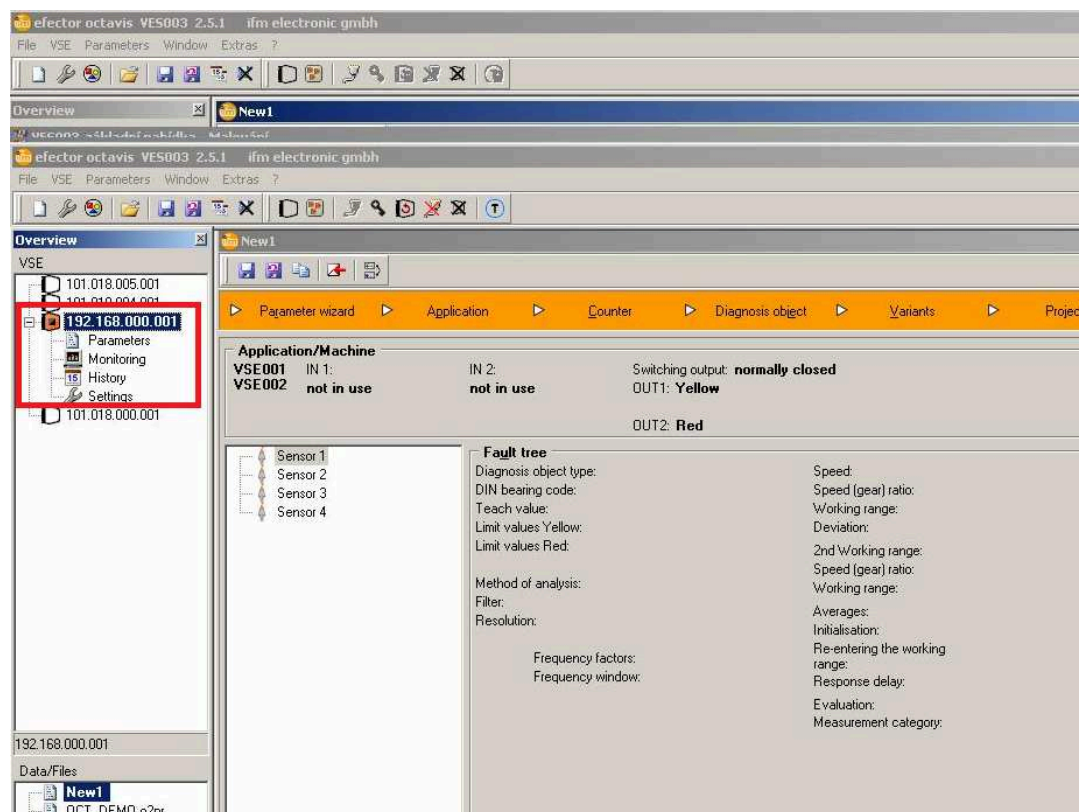
Obr. 34 Načtení jednotky VSE

Načtenou jednotku jsem aktivoval dvojklikem (po aktivaci ikona změny barvy viz. obr. 36). Po aktivaci jsem byl vyzván k výběru úrovně připojení (obr. 35). Možnosti jsou

level 0 až level 4. Level 0 slouží jako prohlížeč mód, který neumožňuje editaci nastavených hodnot. Používá jej obsluha zařízení a je pouze pro prohlížení. Já jsem zvolil level 4, což je expertní mód, který umožňuje provádět veškerá nastavení.



Obr. 35 Výběr úrovně připojení



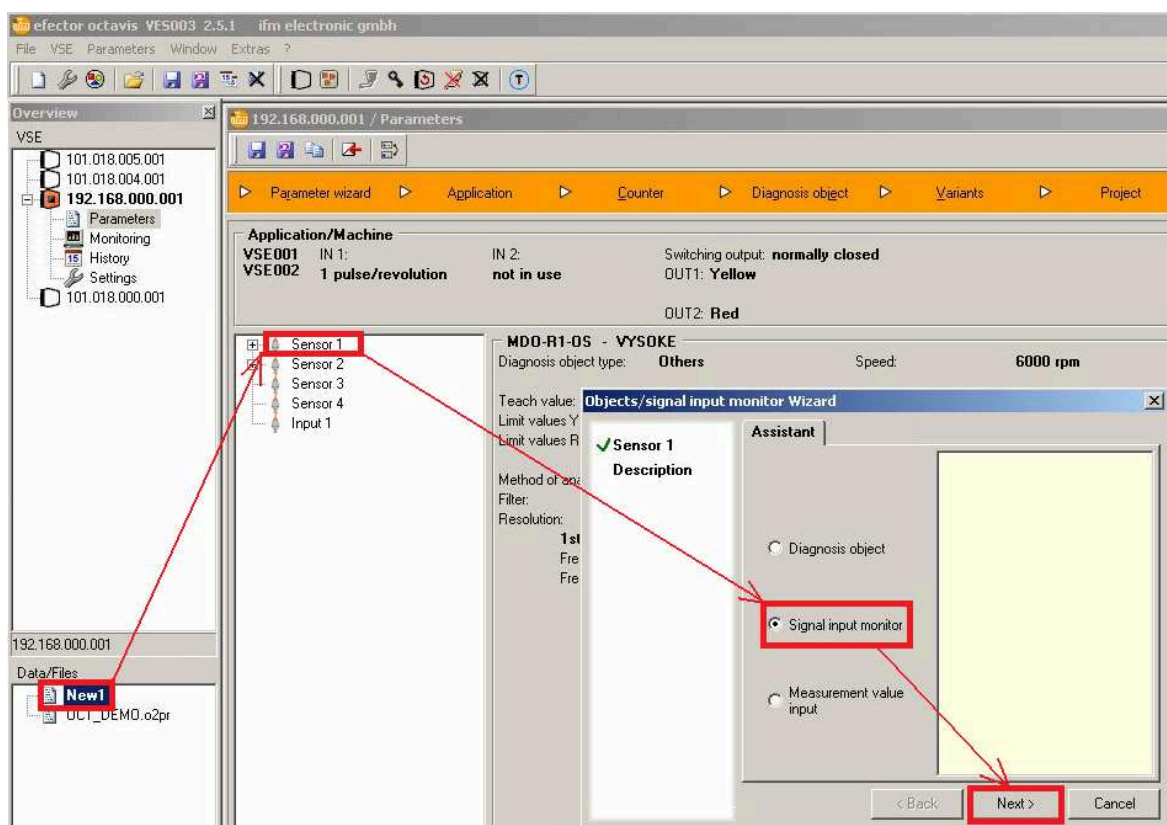
Obr. 36 Načtená, aktivovaná jednotka

Jak se pracuje v programovém prostředí systému octavis efector ukáží na nastavení dvou parametrů. Prvním z nich je přidání monitoru v časové oblasti vibrací, který nám zobrazuje celkovou úroveň vibrací v časové oblasti. Druhým parametrem bude nastavení monitorování nevývahy.

3.2.1 Nastavení monitoru vibrací v časové oblasti

Nastavení jsem začal, jak je popsáno v 3.2, z tohoto důvodu je již popisovat nebudu. Navážím tedy na krok, při kterém došlo k aktivaci VSE jednotky.

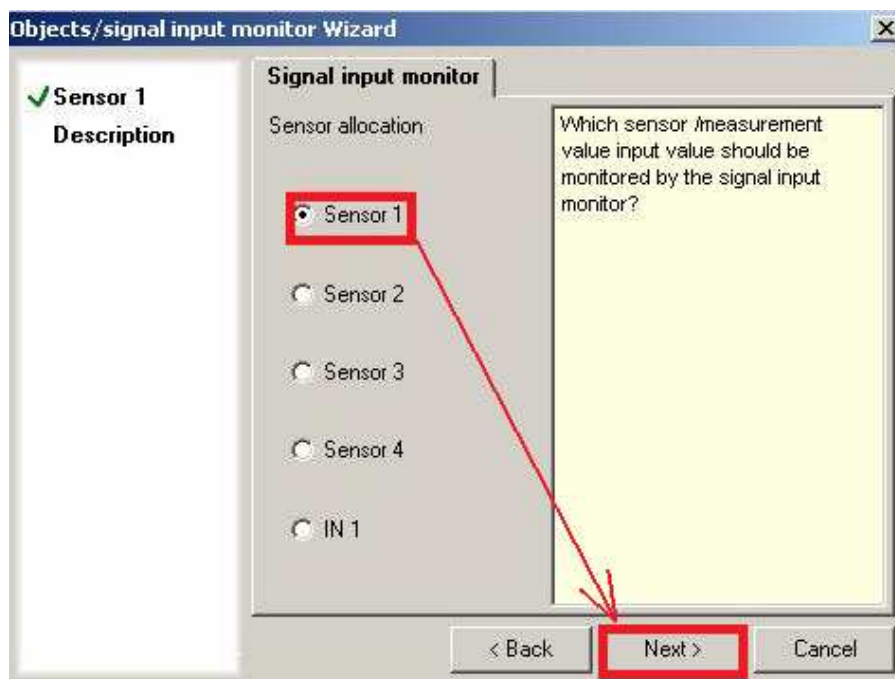
V hlavním MENU klikneme na NEW a vybereme senzor (dvojklikem), který bude snímat monitorovanou veličinu. Otevře se průvodce, který nás bude provádět celým nastavením (obr. 37).



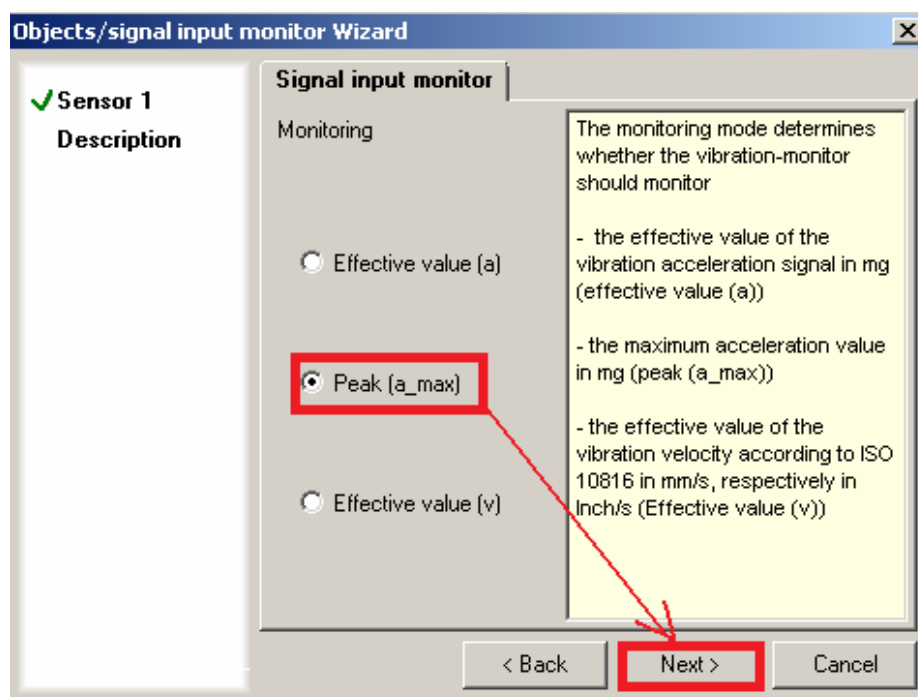
Obr. 37 Postup nastavení monitoru v časové oblasti: první krok

Z daných nabízených možností vyberu SIGNAL INPUT MONITOR =>NEXT.
Tímto krokem jsem „vložil signál do monitoru.“

Nyní jsem vybral snímač, ze kterého bude použit signál (obr. 38). Vybral jsem SENZOR 1 => NEXT. V pravé části okna je stručný popis prováděného kroku v anglickém jazyce.



Obr. 38 Postup nastavení monitoru v časové oblasti: druhý krok

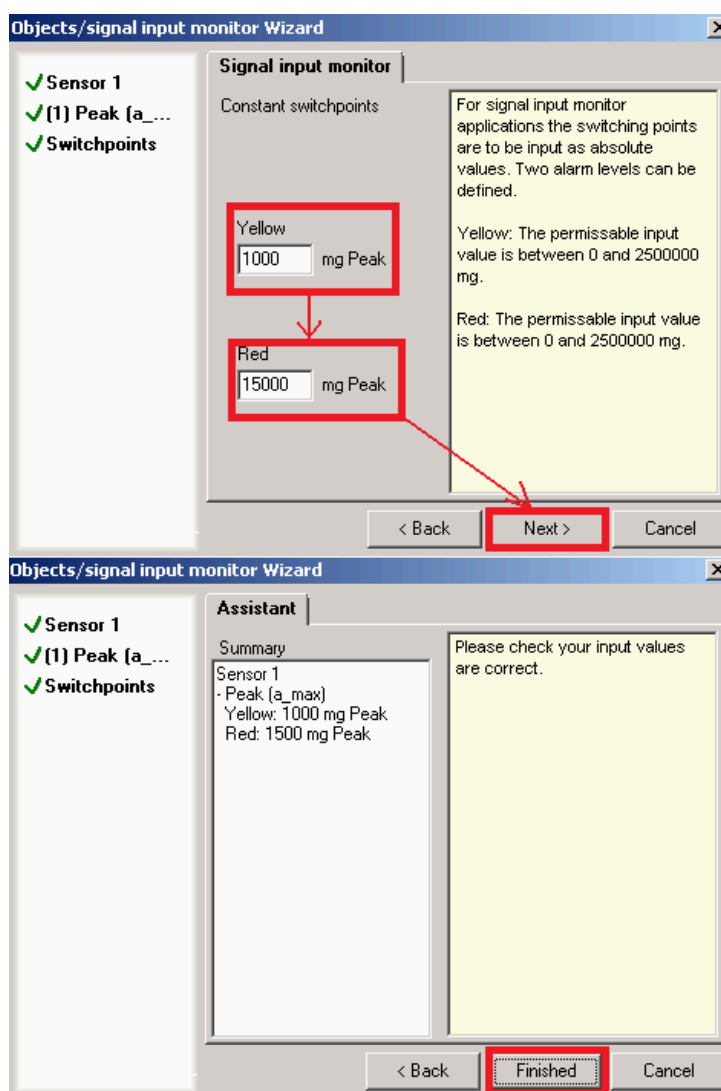


Obr. 39 Postup nastavení monitoru v časové oblasti: třetí krok

Dále jsem zvolil monitorování špičkového zrychlení (obr. 39). PEAK (a_{\max})
=>NEXT.

V dalším kroku (obr. 40) jsem byl vyzván k nastavení alarmů. První hodnota (žlutý alarm) se nastavuje dle zkušeností diagnostika, či výrobce zařízení. Druhý alarm (červený) se zpravidla volí jako 1,5 x hodnota žlutého alarmu.

V posledním okně (obr. 40) se zobrazí souhrn nastavených hodnot. Nastavení parametru jsem dokončil kliknutím na tlačítko FINISH.

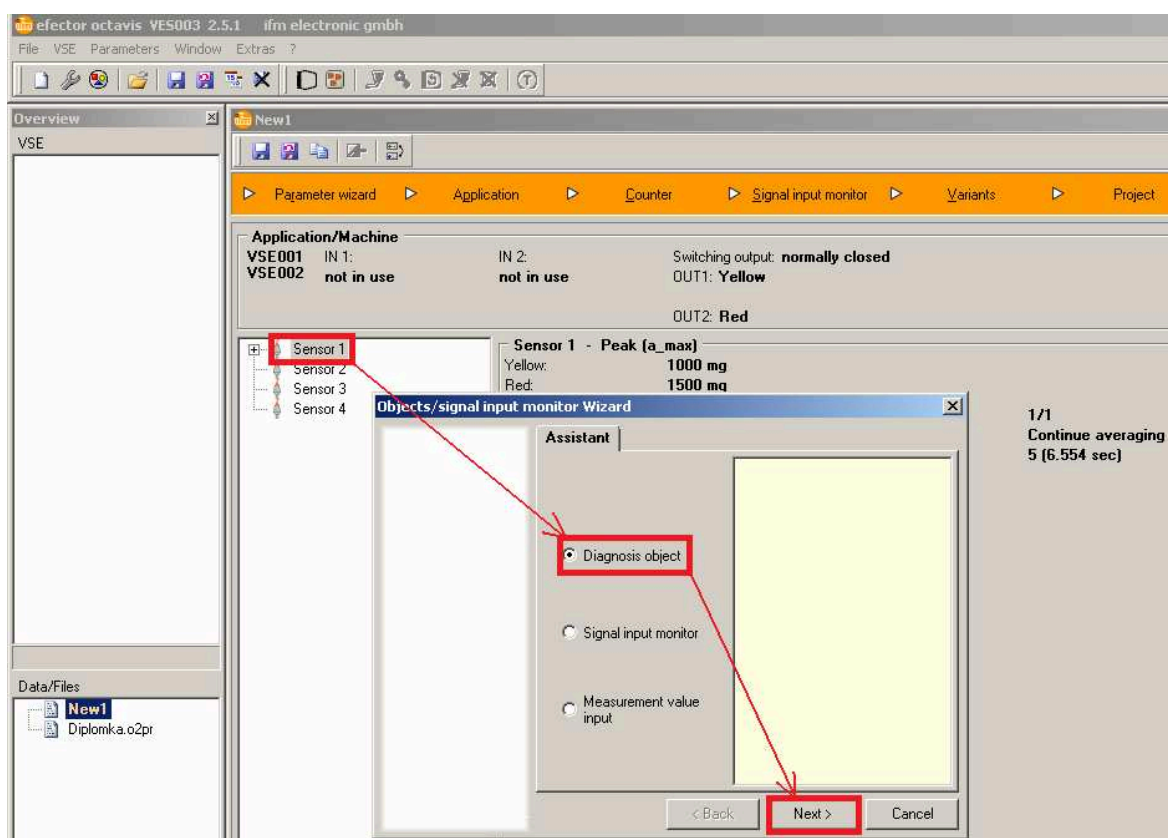


Obr. 40 Postup nastavení monitoru v časové oblasti: čtvrtý krok

3.2.2 Nastavení monitorování nevývahy

Při nastavování monitorování nevývahy vycházím z toho, že se jedná o definování druhého parametru, tudíž kroky v 3.2 a 3.2.1 jsou obdobné.

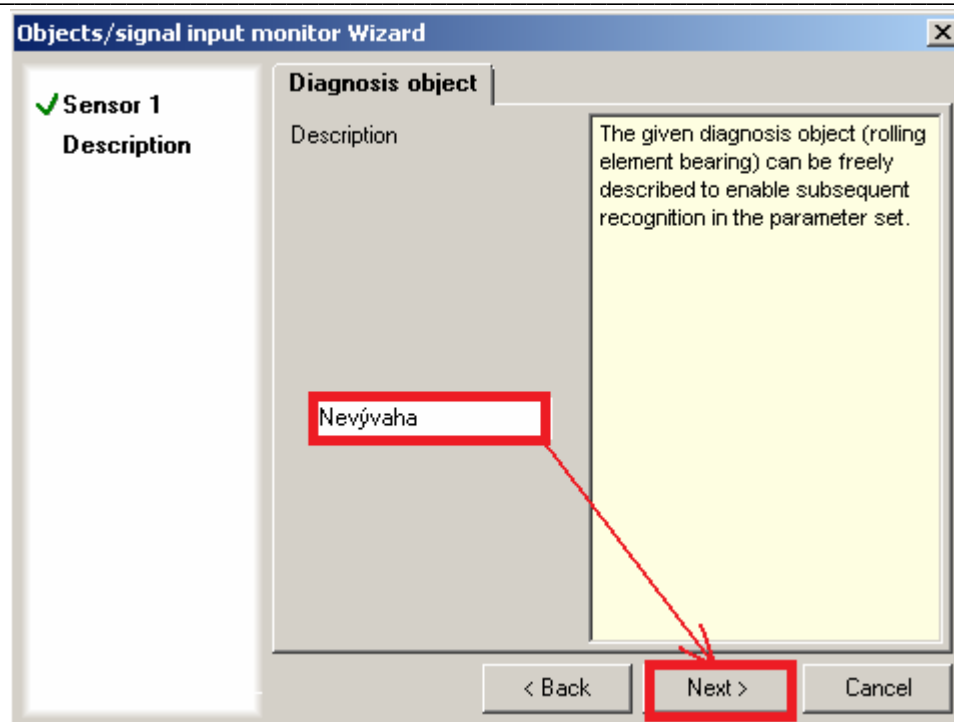
Další monitorovaný parametr přidám dvojklikem na SENZOR 1 (obr. 41) => zvolím DIAGNOSTIC OBJECT (u monitorování nevyváženosti se jedná o monitoring diagnostického objektu) => NEXT.



Obr. 41 Nastavení monitorování nevývahy: první krok

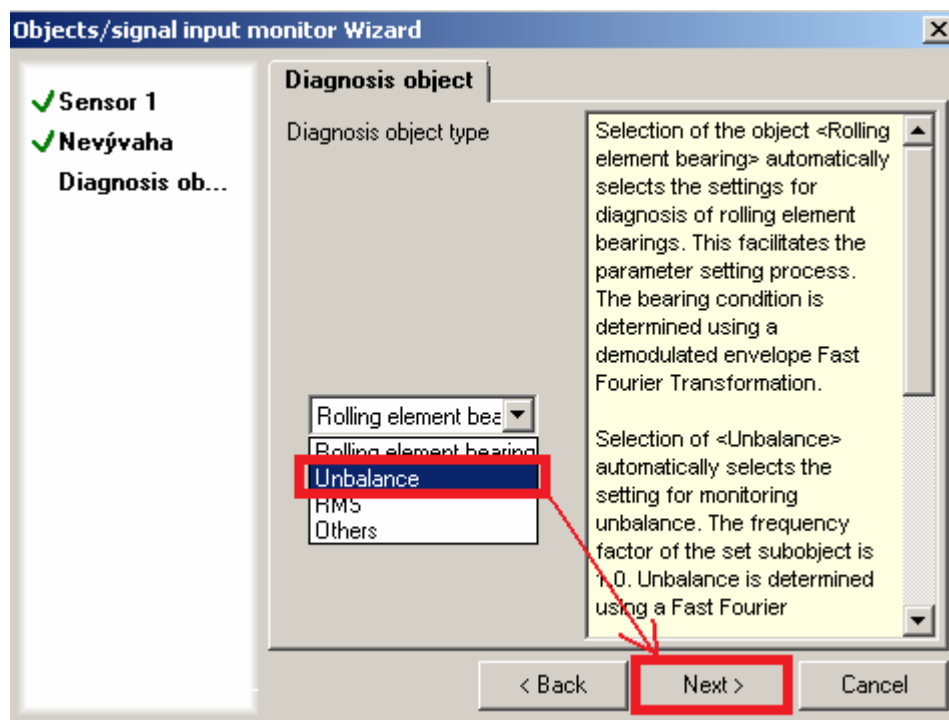
Zvolím senzor, který bude zabezpečovat hodnoty k monitorování nevyváženosti viz. obr. 38: SENZOR 1 => NEXT (druhý krok).

Nyní jsem vyzván k pojmenování monitorovaného parametru (obr. 42). Zadal jsem NEVÝVAHA => NEXT.



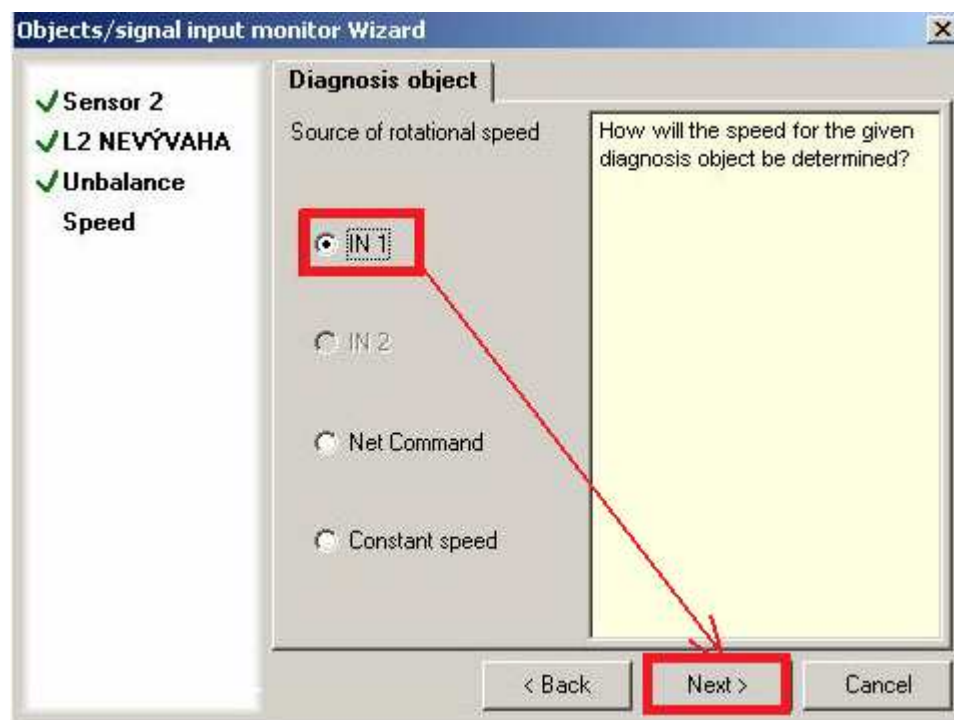
Obr. 42 Nastavení monitorování nevývahy: třetí krok

Na následující kartě (obr. 43) zvolím UNBALANCE (z angl. nevyváženost) =>NEXT.

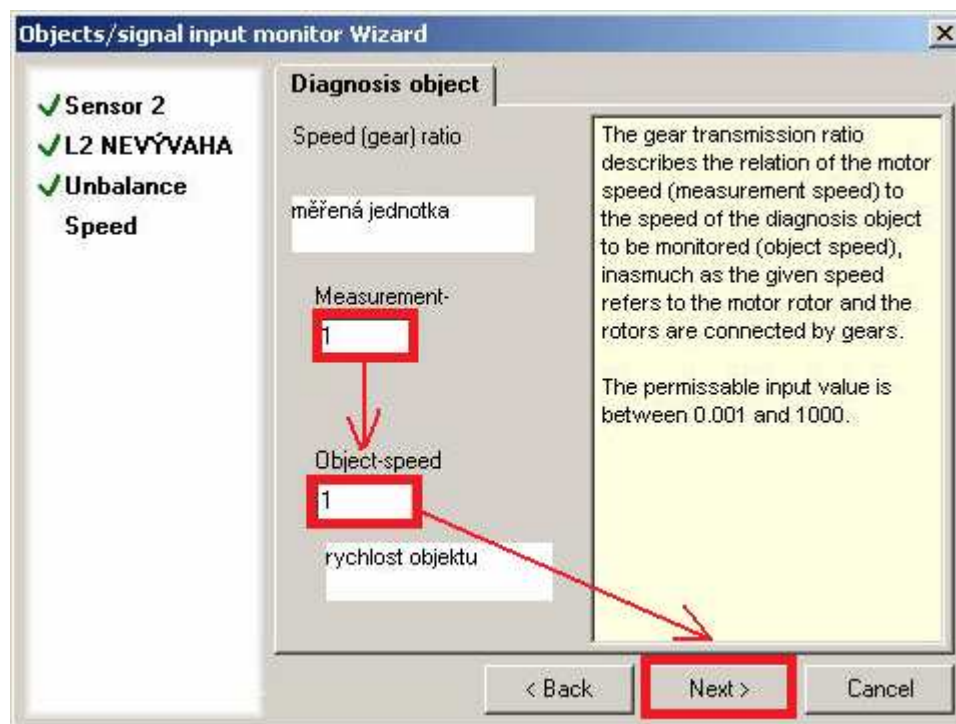


Obr. 43 Nastavení monitorování nevývahy: čtvrtý krok

V pátém kroku vybereme na kartě (obr. 44) IN1 (reprezentuje sondu snímající otáčky) =>NEXT.



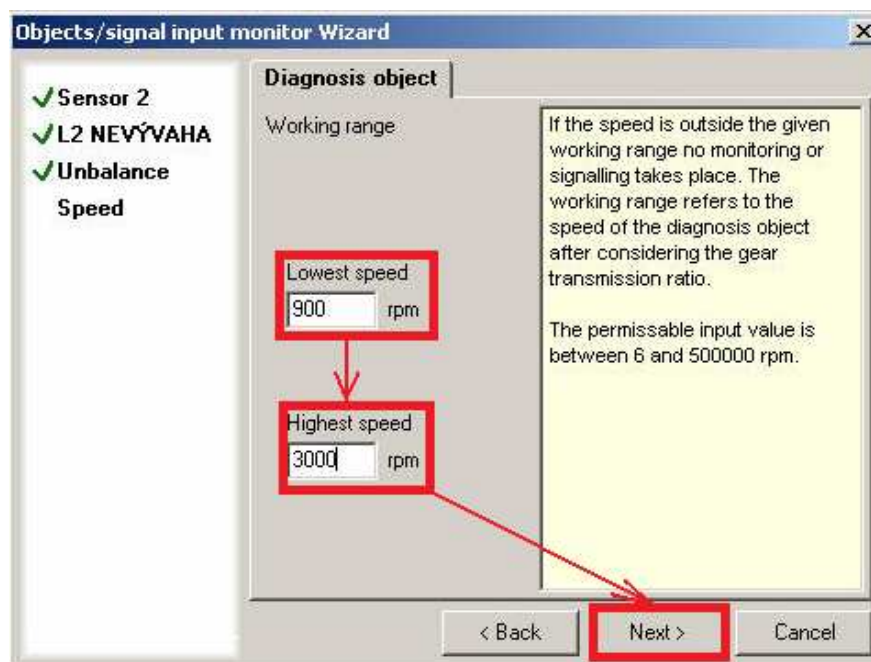
Obr. 44 Nastavení monitorování nevývahy: pátý krok



Obr. 45 Nastavení monitorování nevývahy: šestý krok

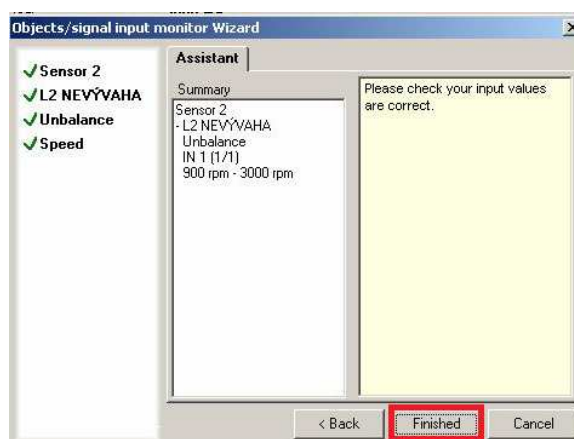
Následující karta (obr. 45) si žádá informace o převodovém poměru, v mém případě (měření na modelu) není žádný převod uskutečněn, a z toho důvodu jsou hodnoty rovny 1 =>NEXT.

Dále jsem navolil pracovní rozsah (obr. 46), tzn. jaké rozmezí otáček bude snímáno =>NEXT.



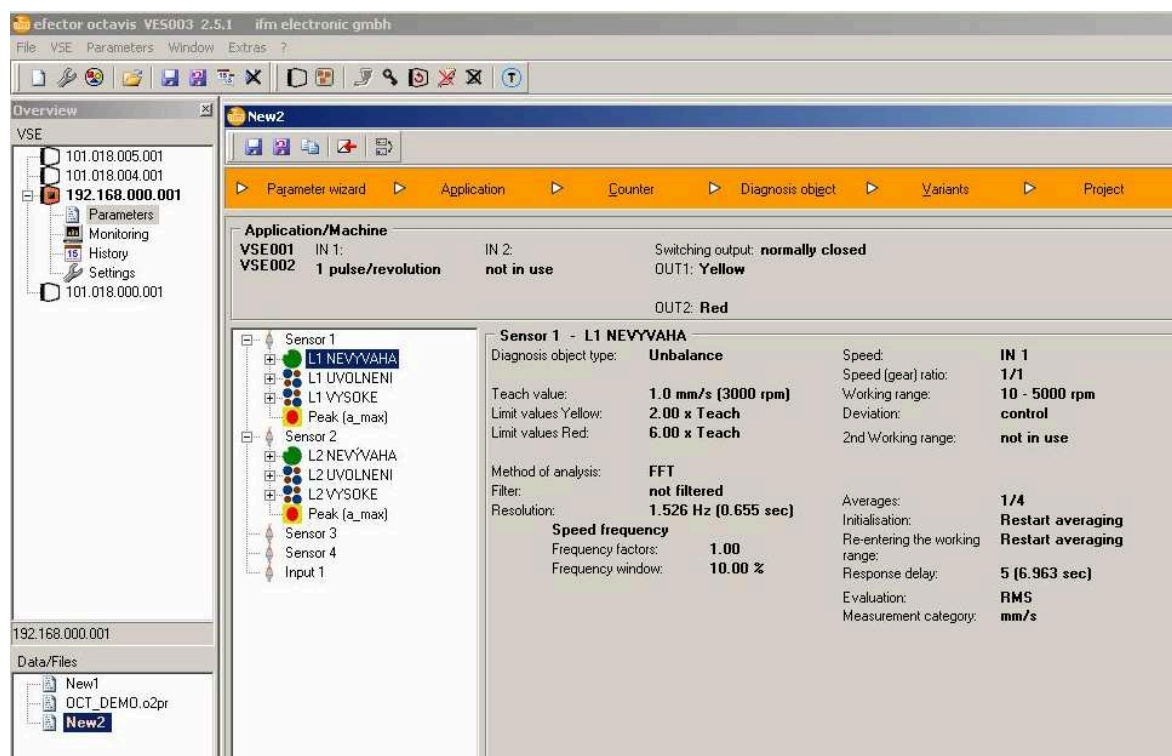
Obr. 46 Nastavení monitorování nevývahy: sedmý krok

Posledním krokem je potvrzení výčtu mnou nastavených hodnot kliknutím na FINISH (obr. 47).



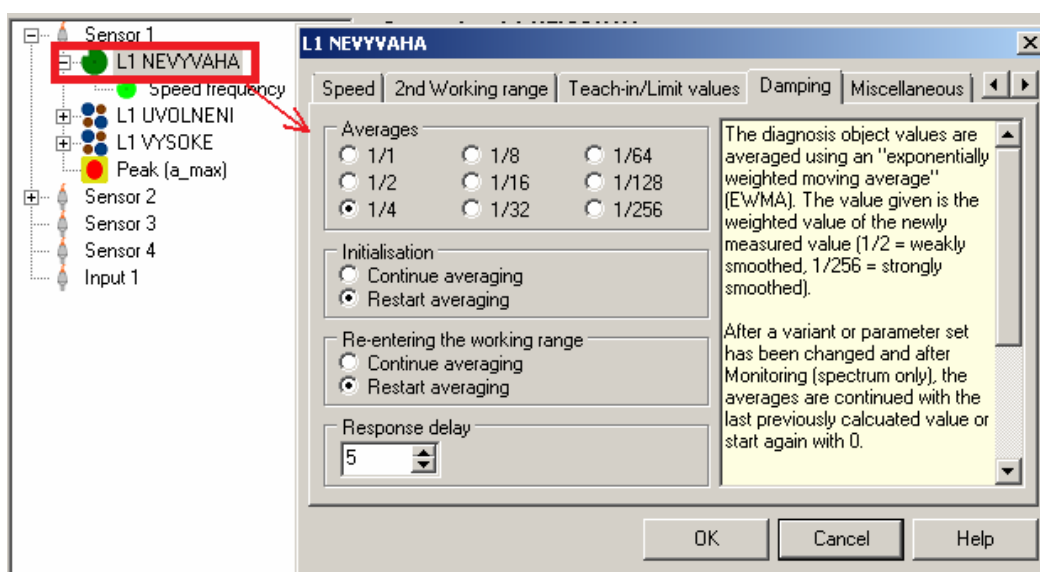
Obr. 47 Nastavení monitorování nevývahy: osmý krok

Definované parametry jsem zkontroloval pomocí kliknutí na jakýkoliv z nich (např. nevývaha), kdy se ukáže výčet všech navolených hodnot – ukázka je na obrázku 48.



Obr. 48 Nastavené hodnoty u nevývahy

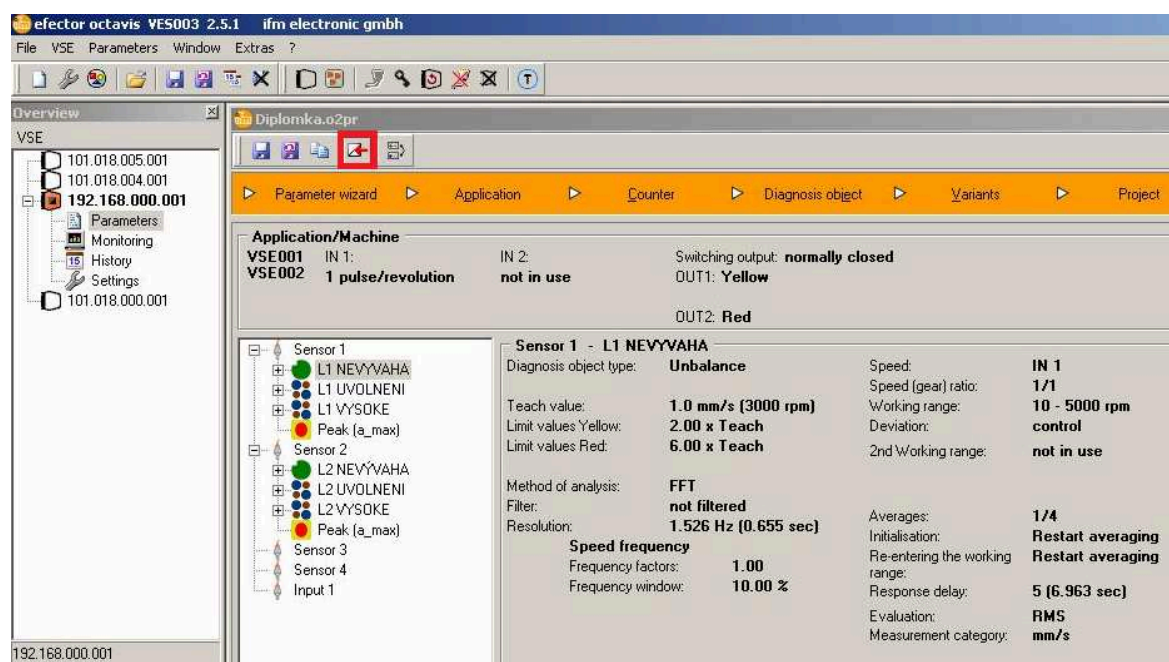
Jakékoliv dodatečné úpravy a další nastavení (průměrkování atd.) se nastaví pomocí tabulky na obrázku 49, která se objeví po dvojkliku na např. L1 NEVÝVAHA.



Obr. 49 Tabulka pro zpřesnění nastavených hodnot

Model má nainstalovány dva snímače VSA 001. Programové prostředí systému octavis efector mi dovoluje jednotlivé, už definované parametry kopírovat od jednoho senzoru k libovolnému dalšímu senzoru, což zjednoduší a urychlí práci.

Máme-li vše nastavené, je nutné toto nastavení zapsat do jednotky VSE (obr. 50), jakožto i každý další zásah do nastavení.



Obr. 50 Zapsání nastavených hodnot do jednotky VSE

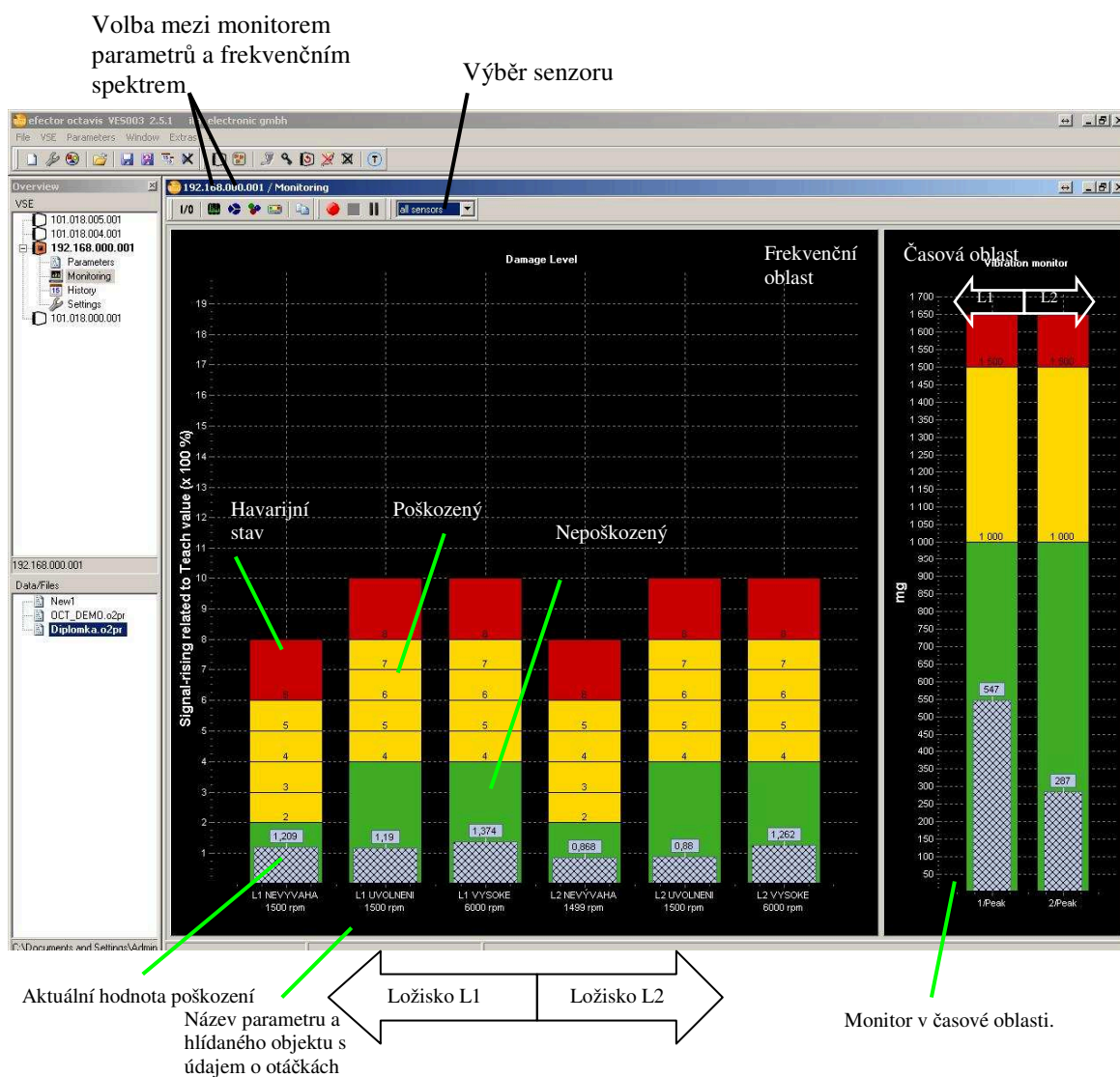
3.2.3 Dílčí závěr

Postupně jsem pro model definoval čtyři monitorované parametry - nevývaha, uvolnění, vysoké frekvence a časový monitor vibrací. Tyto parametry jsem nastavil pro první senzor a k druhému je pouze překopíroval. Jaké hodnoty jsem pro jednotlivé parametry nastavil, je uvedeno v přílohách. Cílem kapitoly 3.2 bylo ukázat přehlednost a snadnou orientaci v programovém prostředí systému octavis efector i pro neexperta.

3.3 Měření na modelu

Měření na modelu, jehož popis je v 3.1, bylo uskutečněno v zázemí fy DIF s.r.o. v Bohumíně.

Po nastavení veškerých parametrů a jejich zapsání do jednotky VSE se objeví okno pro monitorování zmíněných parametrů (obr. 51). V tomto okně můžeme volit např. jestli chceme zobrazit hodnoty ze senzoru 1, 2, 3, 4 (v mém případě pouze 1 či 2), nebo všechny najednou.

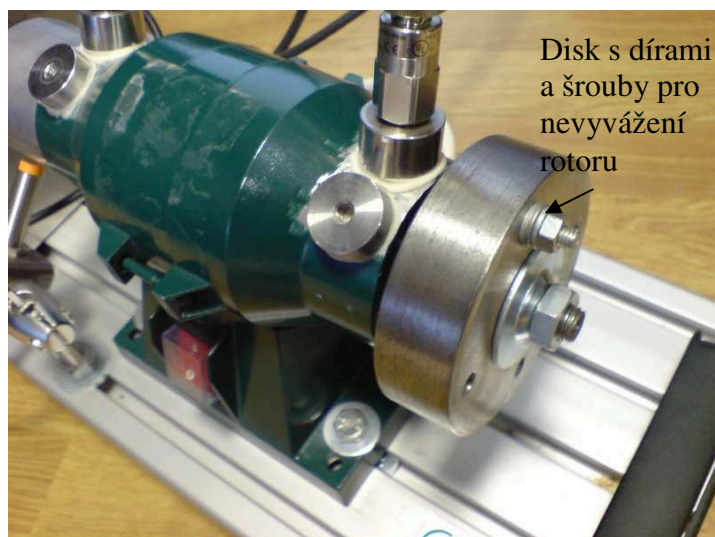


Obr. 51 Monitor parametrů

Na monitoru parametrů. Při použití parametrické diagnostiky je vidět výhoda systému octavis efector: **informace o stavu stroje je srozumitelná i pro pouze zaškolenou obsluhu.**

3.3.1 Měření nevývahy

Nevývahy na modelu bylo dosaženo sundáním vrtulky a nasazením disku s otvory a šrouby, jak je vidět na obrázku 52.



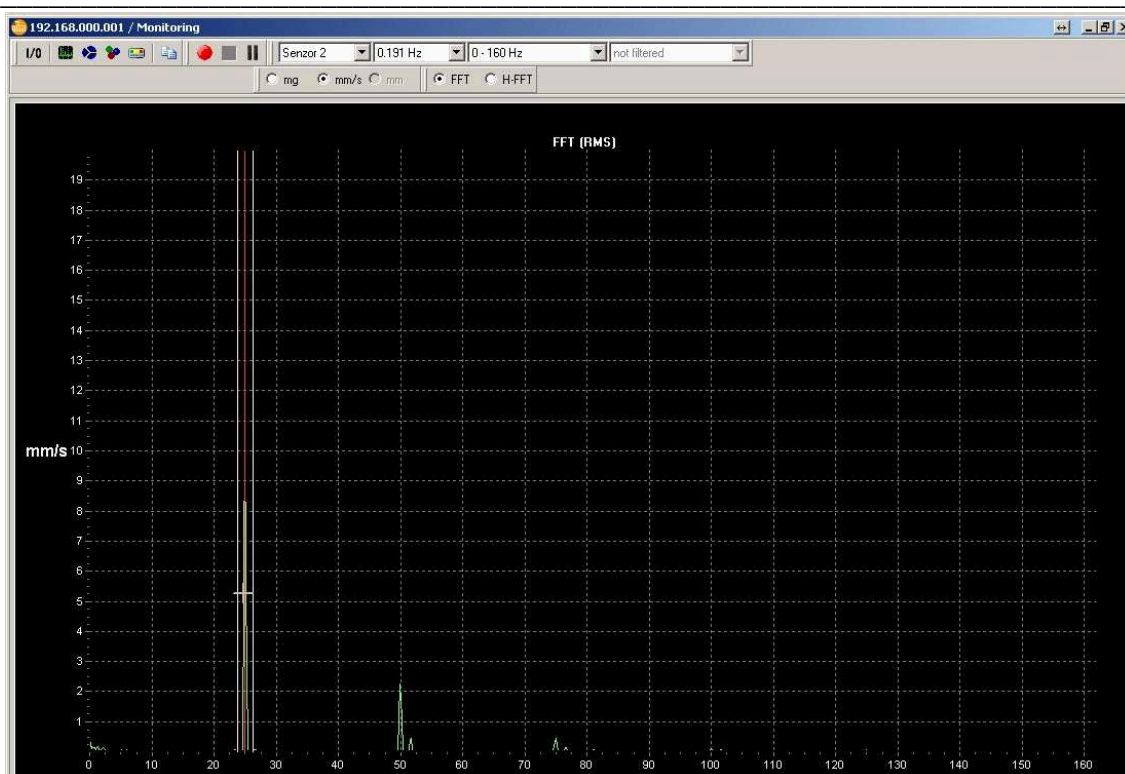
Obr. 52 Disk pro demonstraci nevývahy

Takto nevyvážený disk se ve frekvenčním spektru projevil vysokou špičkou na otáčkové frekvenci $f_{OT} = 25 \text{ Hz}$ s amplitudou $v_{ef} = 8,5 \text{ mm.s}^{-1}$ (obr. 53). Vidět je i pásmo kolem $f_{OT} = 25 \text{ Hz}$ o rozsahu $\pm 5\%$, což je nastavená oblast kolem f_{OT} , ve které je navývaha monitorována.

Na monitor parametrů byly výrazně překročeny meze nastavených alarmů pro nevývahu (obr. 54), jejíž hodnoty byly tak vysoké, že se vzniklé vibrace projeví i v překročení mezí pro parametr uvolnění.

Pro srovnání přidávám obrázky 55 a 56, na kterých je znázorněno frekvenční spektrum (výrazně nižší špičky než ve spektru na obr. 53) a monitor parametrů vyváženého rotoru, kde je amplituda $v_{ef} = 1,25 \text{ mm.s}^{-1}$.

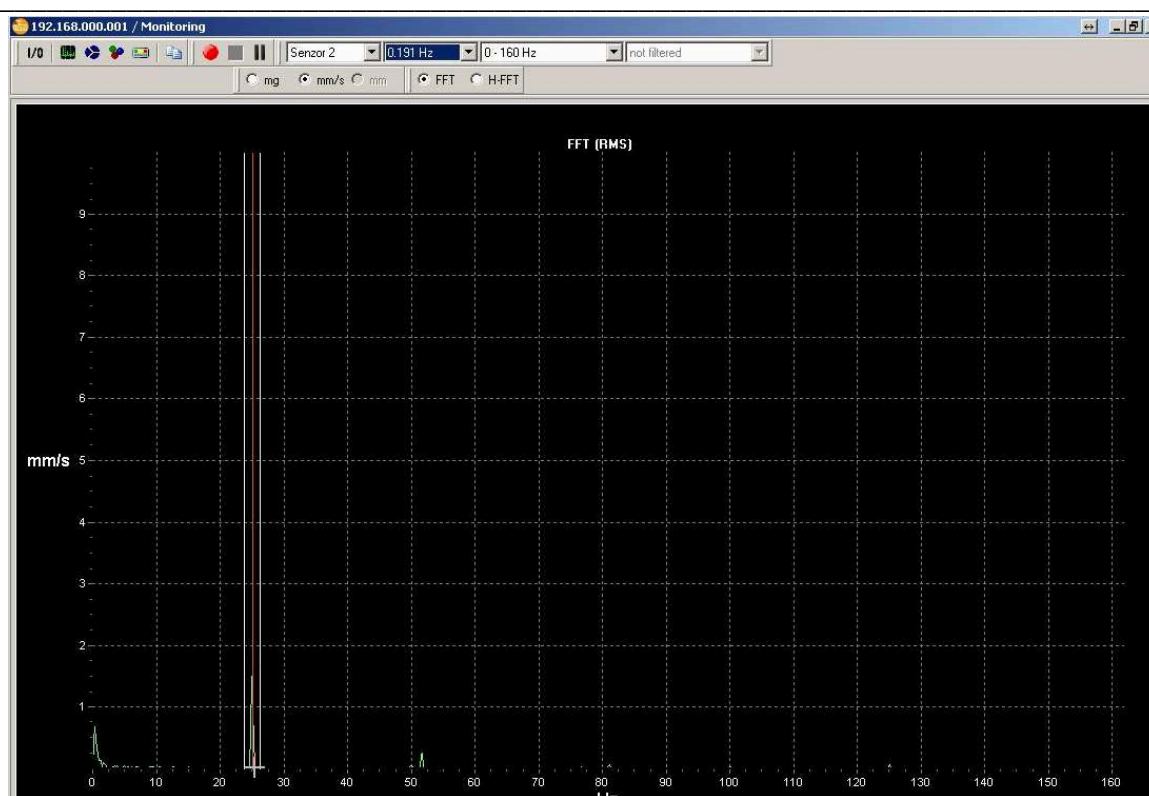
Obrázky jsou záznamy z ložiska L2. Ložisko L1 nebude uvedeno z důvodu stejných (velmi podobných) hodnot.



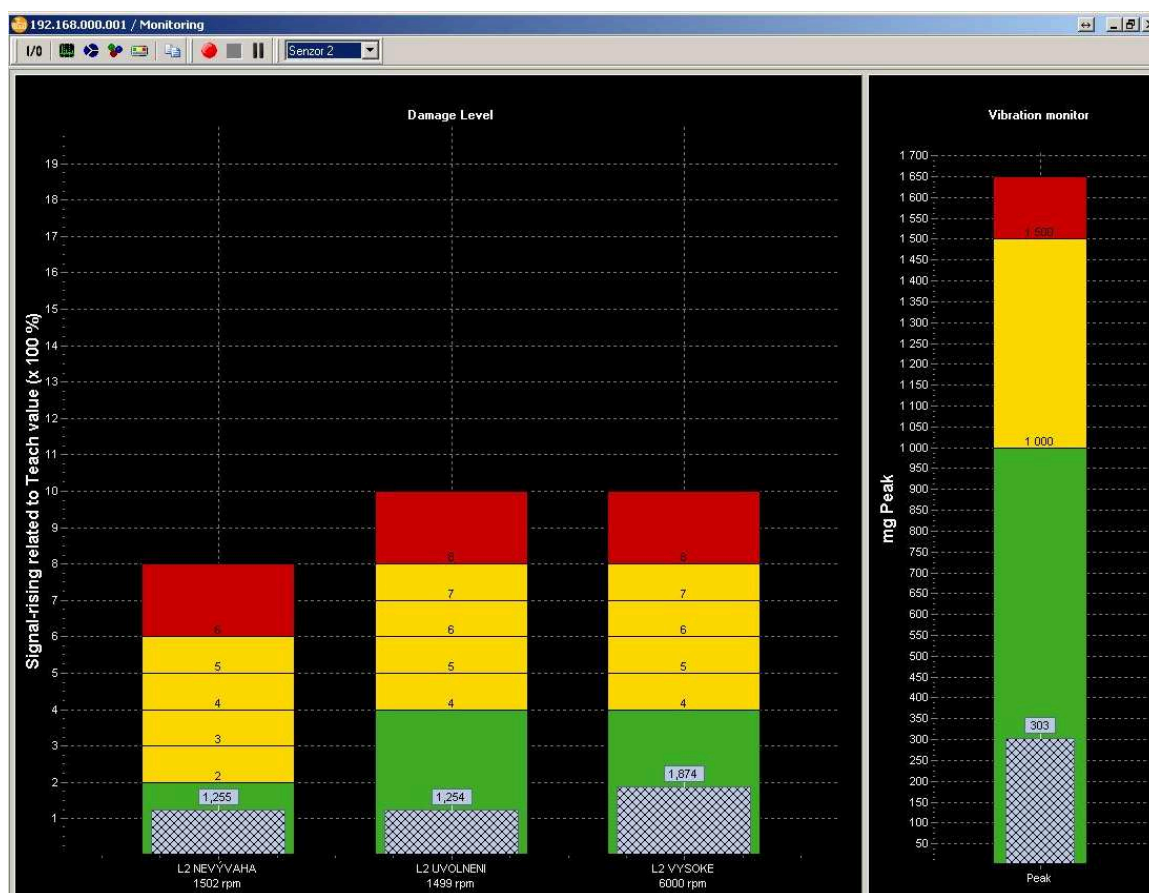
Obr. 53 Spektrum rychlosti vibrací ložiska L2 do 160 Hz. Projevy nevývahy



Obr. 54 Monitor parametrů ložiska L2 pro nevývážený rotor

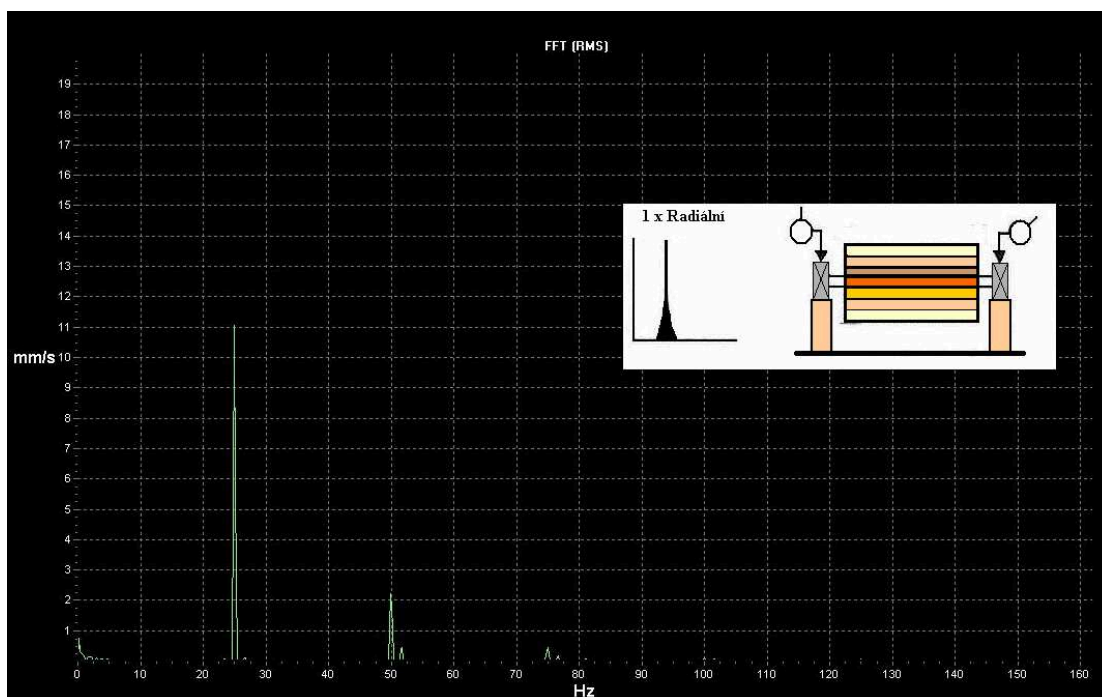


Obr. 55 Spektrum rychlosti vibrací ložiska L2 do 160 Hz. Vyvážený rotor



Obr. 56 Monitor parametrů ložiska L2 pro vyvážený rotor

Velmi zajímavé je také srovnání teoretického projevu nevývahy ve frekvenčním spektru podle Berryho a skutečnosti, jak je tomu provedeno na obrázku 57. Je zřejmé, že dle Berryho by měla být velmi výrazná špička na první otáčkové frekvenci, což spektrum naměřené na modelu potvrdilo.

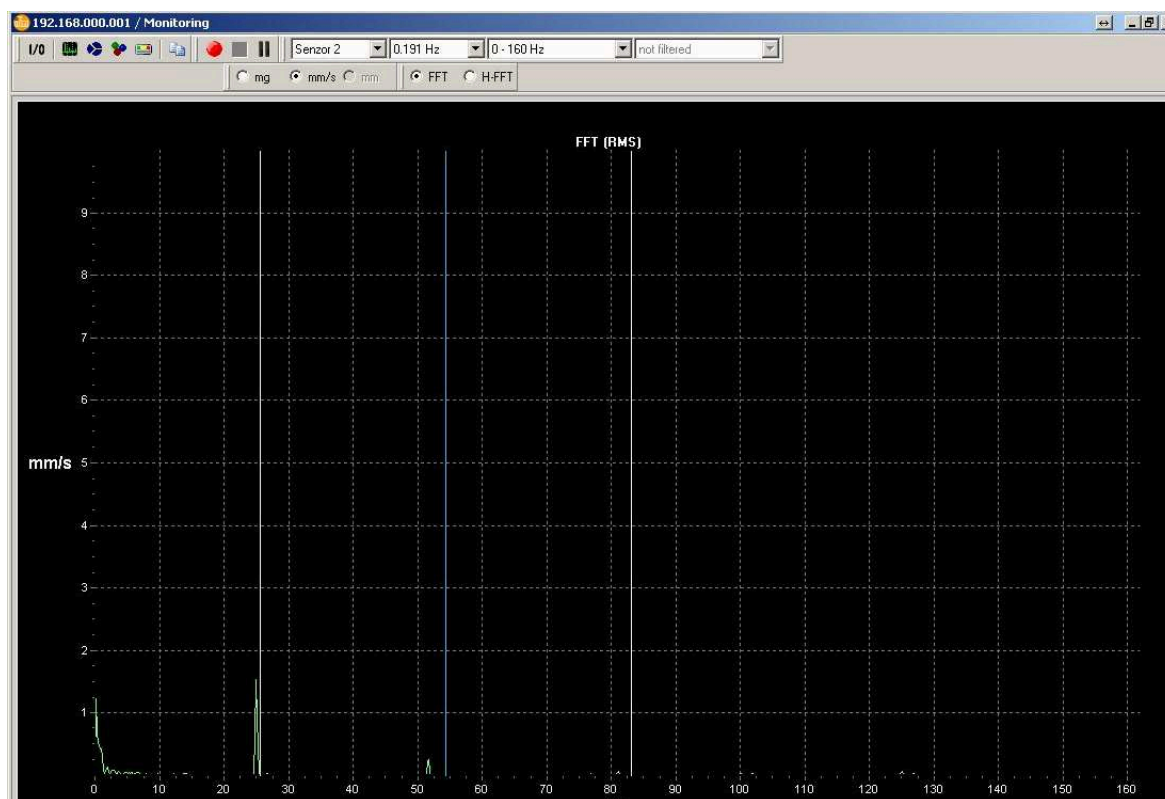


Obr. 57 Porovnání spektra nevývahy dle Berryho a skutečného spektra

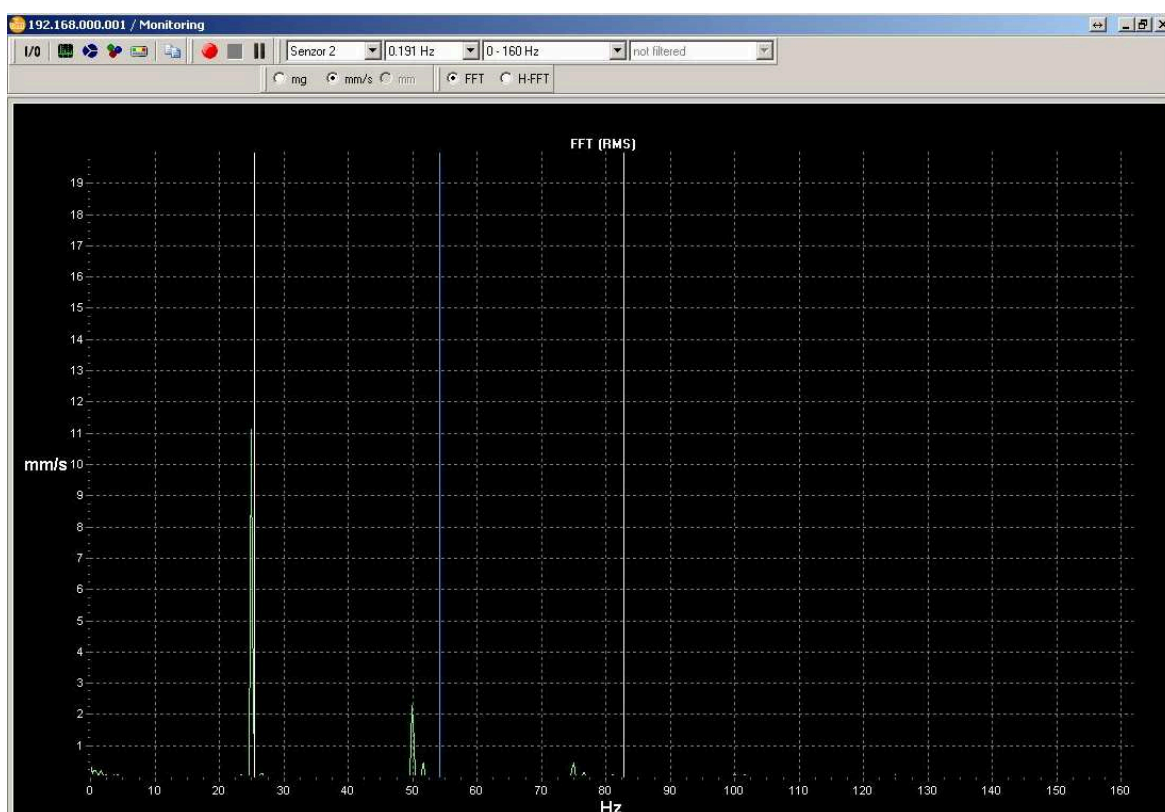
3.3.2 Další monitorované parametry

Dalším monitorovaným parametrem bylo uvolnění, které se přirozeně projevilo již při velmi vysokých hodnotách vibrací u nevývahy, jak je konec konců vidět na obrázku 54.

Frekvenční spektrum uvolnění je zobrazeno na obrázku 58 (v tomto spektru k uvolnění nedochází $v_{ef} = 0,2 \text{ mm.s}^{-1}$ $f_{2xot} = 50 \text{ Hz}$), kde jsou viditelné i meze, ve kterých je uvolnění monitorováno. Na obrázku 59 je k porovnání spektrum, na kterém již k uvolnění dochází ($v_{ef} = 2,2 \text{ mm.s}^{-1}$ $f_{2xot} = 50 \text{ Hz}$) a je zde také patrná nevývaha.

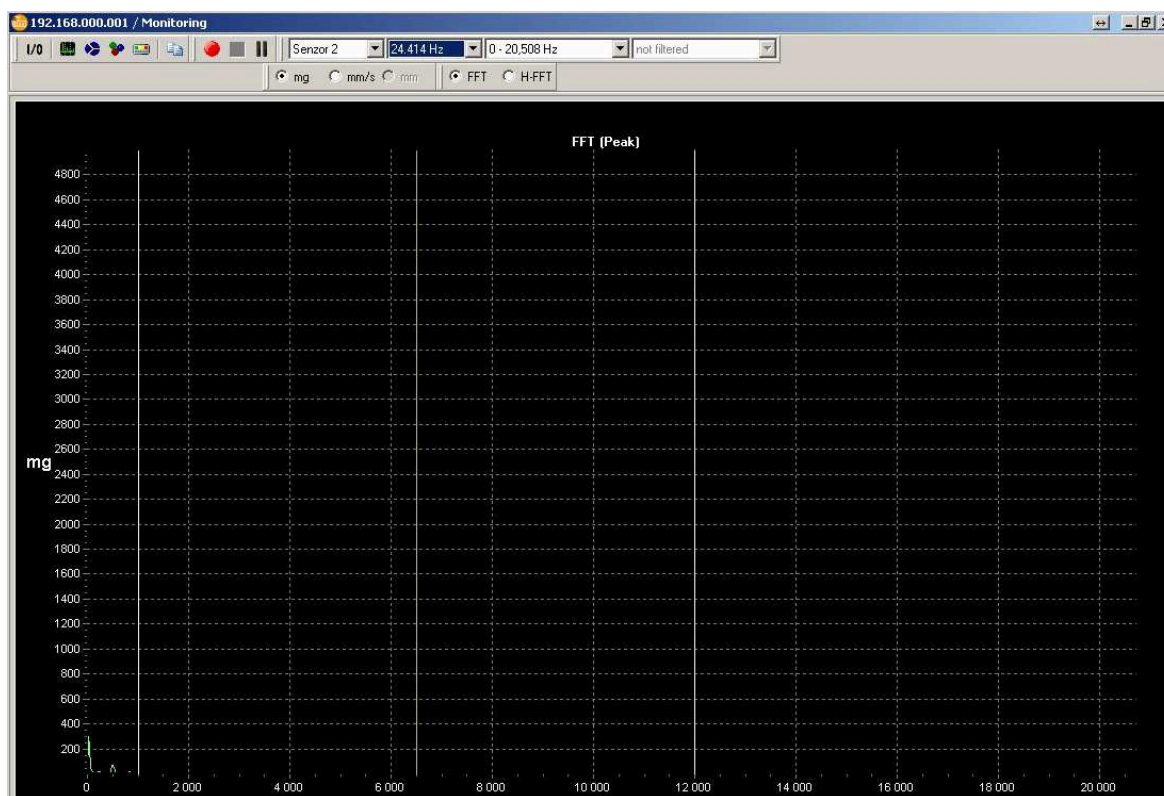


Obr. 58 Spektrum rychlosti vibrací ložiska L2 do 160 Hz. Bez projevů uvolnění



Obr. 59 Spektrum rychlosti vibrací ložiska L2 do 160 Hz. S projevy uvolnění.

Na modelu jsem také měřil vysoké frekvence, které se při různých simulacích bohužel neprojeví. Monitoruji se z důvodu problémů s mazáním ložiska, přidíráním ložiska a podobně. Na obrázku 60 je znázorněno frekvenční spektrum s mezemi pro monitorování vysokých frekvencí.



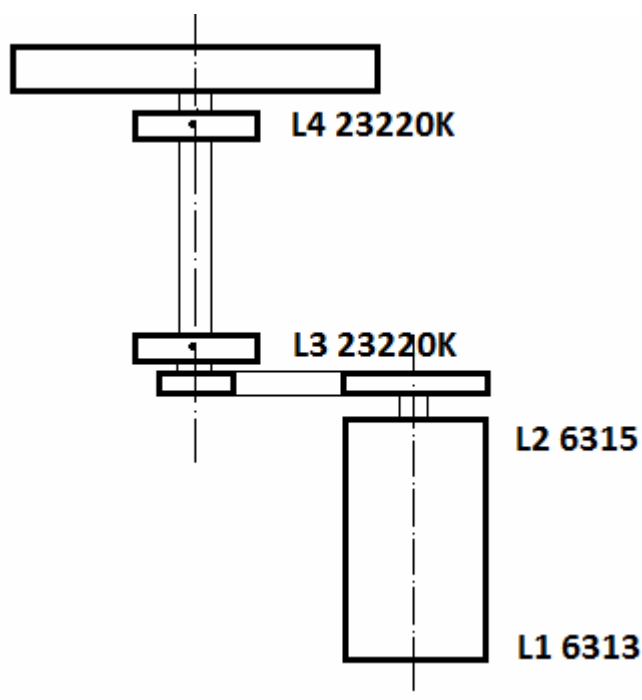
Obr. 60 Spektrum zrychlení vibrací ložiska L2 do 20 kHz pro monitorování vysokých frekvencí

3.3.3 Dílčí závěr

Po nastavení hodnot monitorovaných parametrů v programovém prostředí octavis efector a jejich změření na modelu, mohu konstatovat, že práce se systémem octavis efector je velmi příjemná a do určité míry i snadná. Nejtěžší je správně nadefinovat monitorované parametry a jejich hodnoty. Samotné určení technického stavu monitorovaného objektu je velice snadné, jak je zřejmé z předešlých obrázků. Co se týče Berryho tabulky, ověřil jsem, že její použití pro vyhodnocení frekvenčních spekter je velmi dobrým pomocníkem.

3.4 Měření z praxe

Praktické měření s firmou DIF s.r.o proběhlo ve firmě Duropac Bupac Papírna s.r.o v Českých Budějovicích. Jednalo se o vibrační diagnostiku ložisek ventilátoru, kde kolo ventilátoru je poháněno pomocí řemenu viz. obrázek 60. Měření bylo provedeno pomocí on-line systému octavis efector pomocí snímačů pevně instalovaných na zařízení. Svou prací jsem se podílel na nastavení a vyhodnocení naměřených dat. Pro vyhodnocení dat byl použit vzdálený přístup.



Obr. 61 Schéma měření

Při měření ventilátoru jsem použil metody:

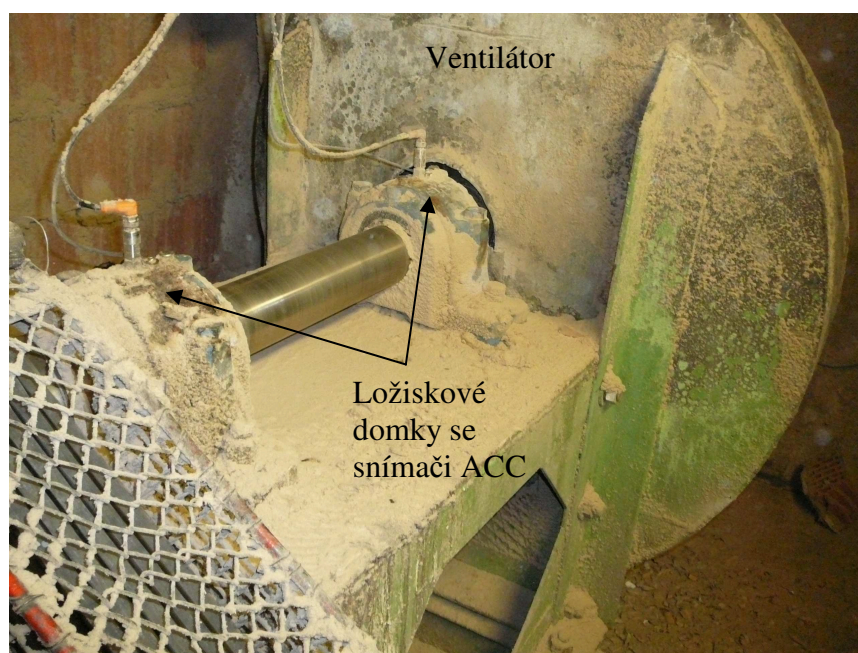
- | | |
|--|---|
| 1. Zrychlení vibrací a_{peak} | do 12 kHz – v těchto (vysokých) frekvencích se indikují první projevy poškození ložisek. |
| 2. Obálkovou metodu H-FFT | obálka zrychlení do 190 Hz a do 640 Hz – rozsah jsem takto zvolil kvůli počtu čar, abych zobrazil i frekvenci např. 100,5 Hz. |
| 3. Rychlost vibrací v_{RMS} | do 250 Hz – rychlost jsem měřil kvůli lepší viditelnosti nízkofrekvenčních závad. |

Rychlosti stroje

| Ložisko | | RPM |
|-------------|--------|-------|
| L001 | 6313 | 24,75 |
| L002 | 6315 | 24,75 |
| L003 | 23220K | 40,15 |
| L004 | 23220K | 40,15 |

Otáčky stroje byly trvale měřeny.

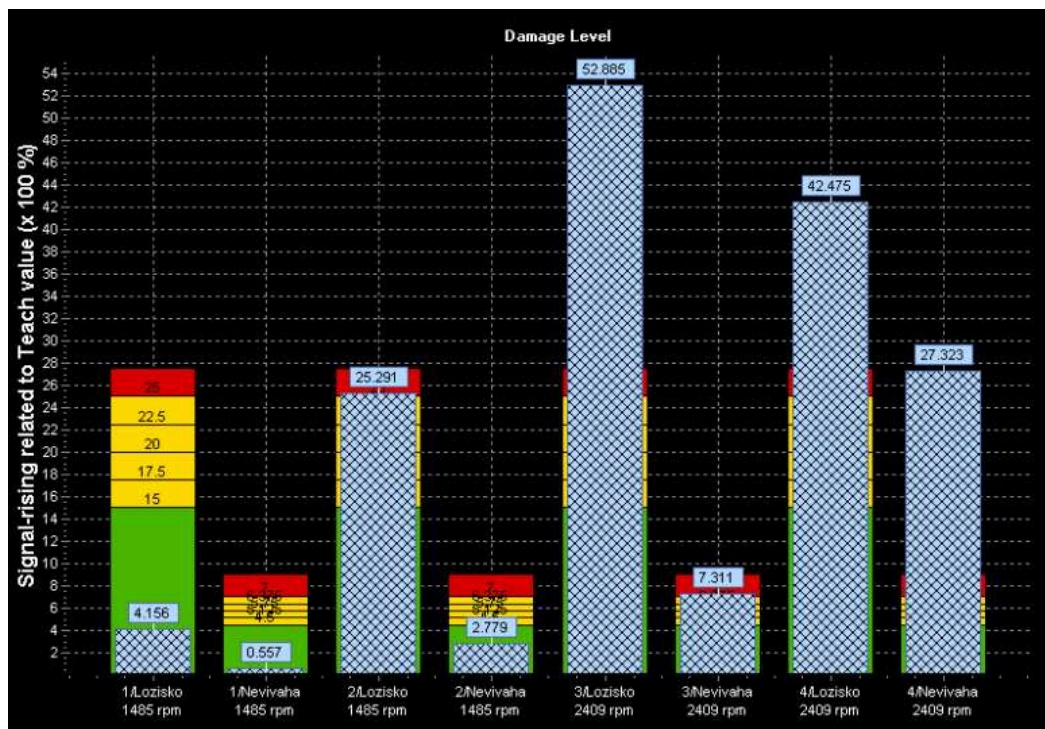
Snímače vibrací byly na ložiskových domcích umístěny dle obr. 62 z důvodu tuhosti ve svislém směru, která je nižší než ve směru vodorovném. Systém vyhodnocení je on-line, což je také důvodem, proč měříme pouze jeden směr (více směrů je finančně náročnějších).



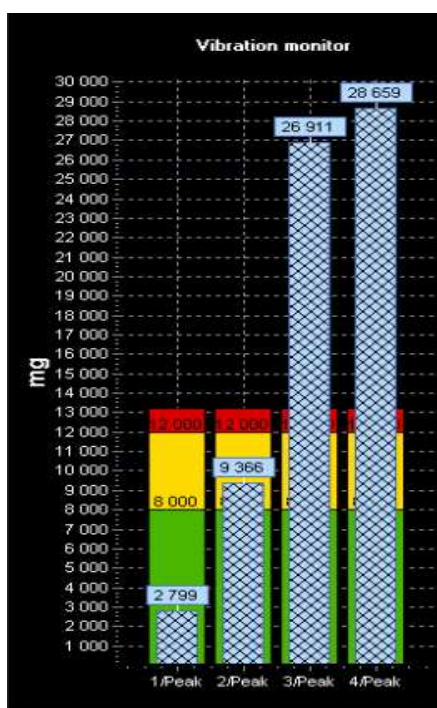
Obr. 62 Umístění snímačů na ložiskových domcích

3.4.1 Naměřená data a jejich vyhodnocení

Na obrázku číslo 63 a 64 jsou znázorněna ložiska L1 až L4 a jejich měřené parametry – celkové poškození ložiska (označeno jako ložisko), nevývaha a stav mazání (označeno jako Peak).

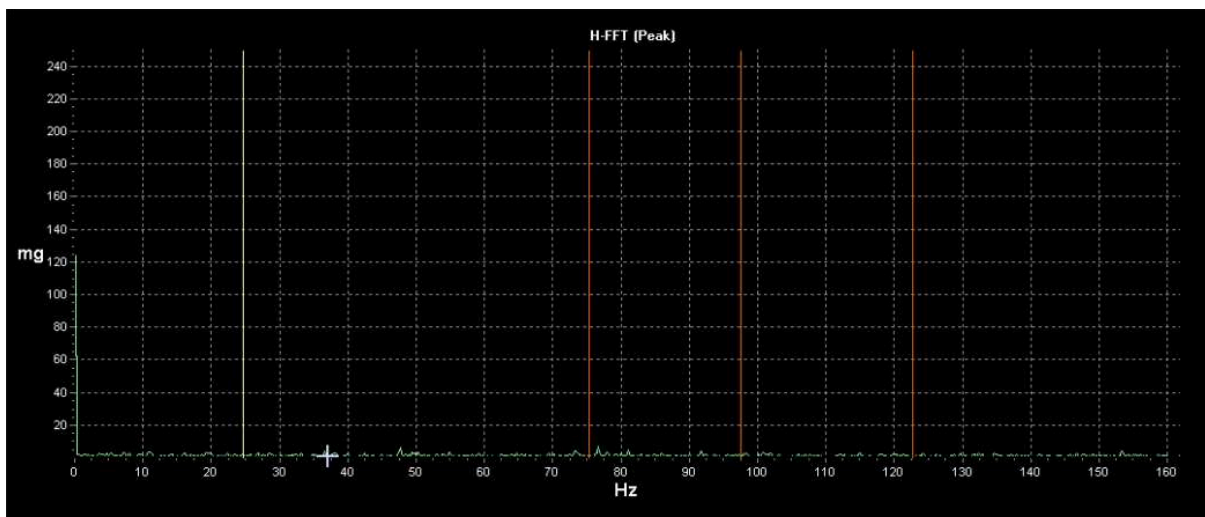


Obr. 63 Monitor parametrů ložisek L1 až L4

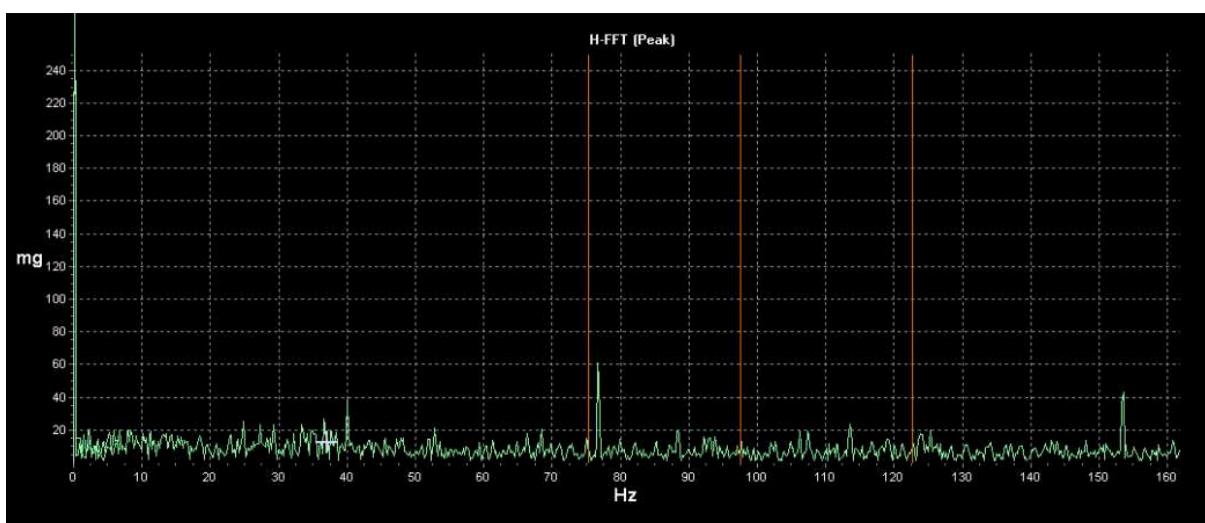


Obr. 64 Monitor vibrací ložisek a_{peak} L1 až L4 v časové oblasti

Ložisko L1 a L2 vykazuje dobrý technický stav (viz. frekvenční spektrum na obrázcích 65 a 66). Naproti tomu nejhorší technický stav vykazuje ložisko L3 a ložisko L4. Ze spektra vibrací je patrný jejich problém s mazáním.

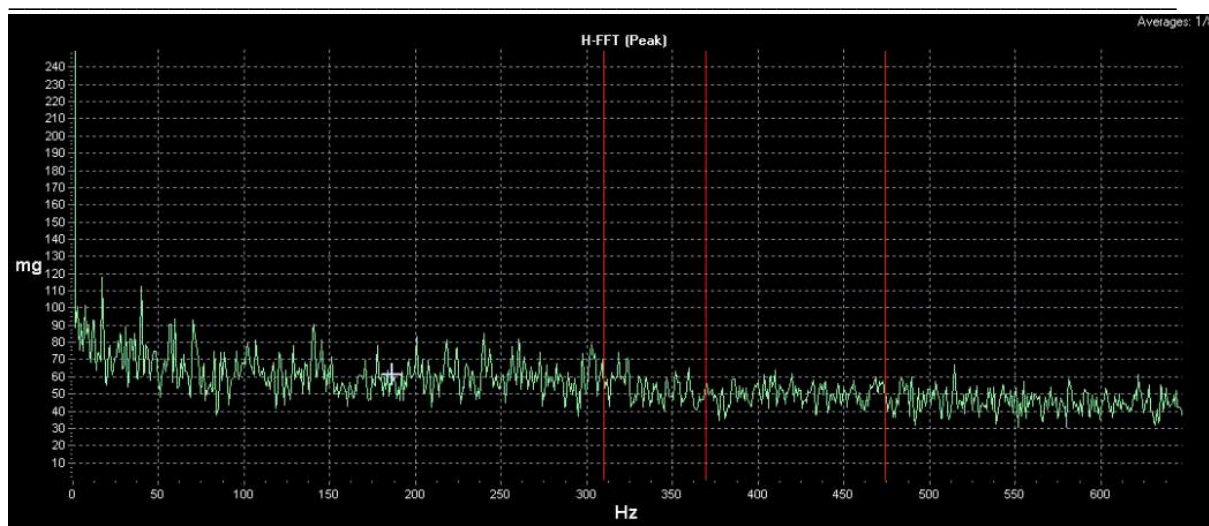


Obr. 65 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací obálky H-FFT ložiska L1 6313

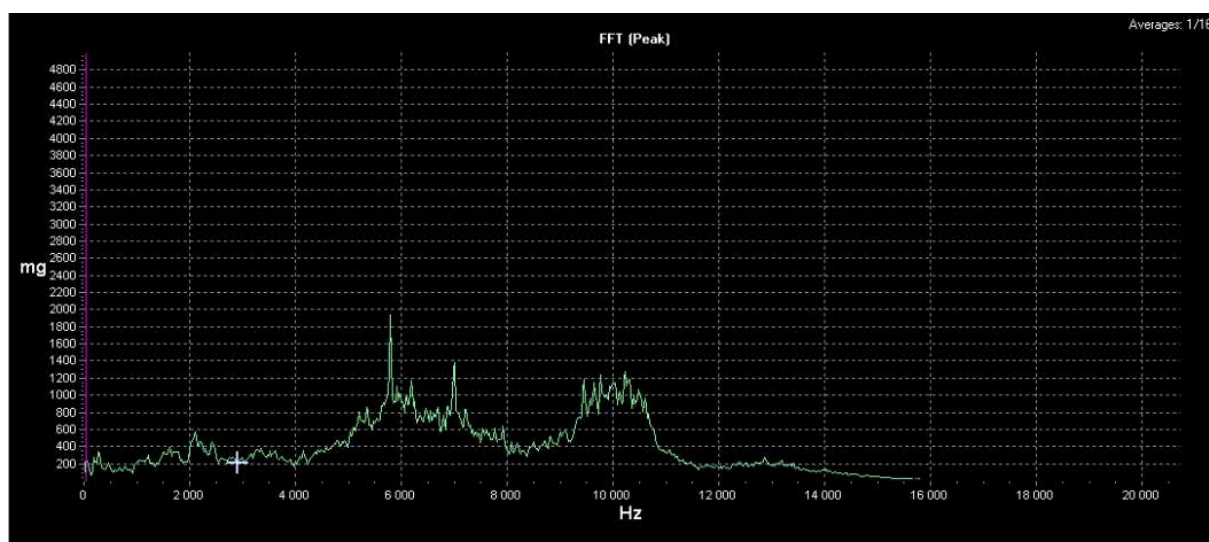


Obr. 66 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací obálky H-FFT ložiska L2 6315

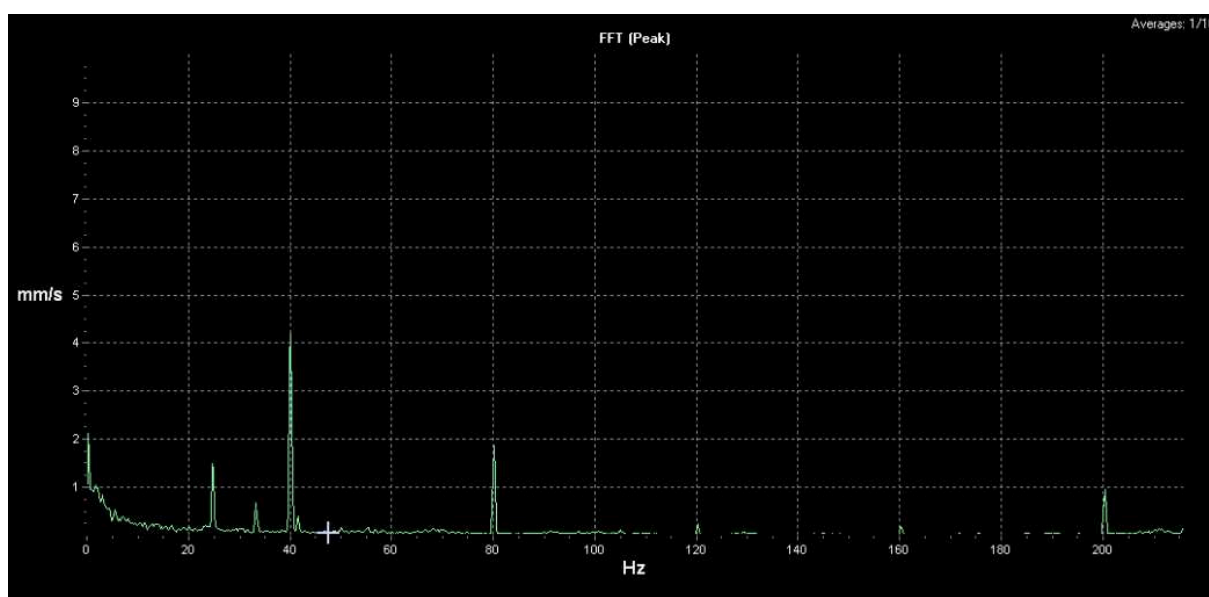
Ložisko L3 23220K má problém s mazáním. Mazání je nedostatečné (viz. obrázek číslo 68). Na obrázku číslo 69 je vidět uvolnění (špičky na 1x, 2x, 3x, 4x RPM). Toto uvolnění se nejspíše přenáší z ložiska L4 (viz obrázek číslo 70), doporučuji však kontrolu uchycení domku ložiska L3. Na obrázku číslo 67 jsou vyznačeny chybové frekvence ložiska L3 23220K.



Obr. 67 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací obálky H-FFT do 190Hz ložiska L3 23220K

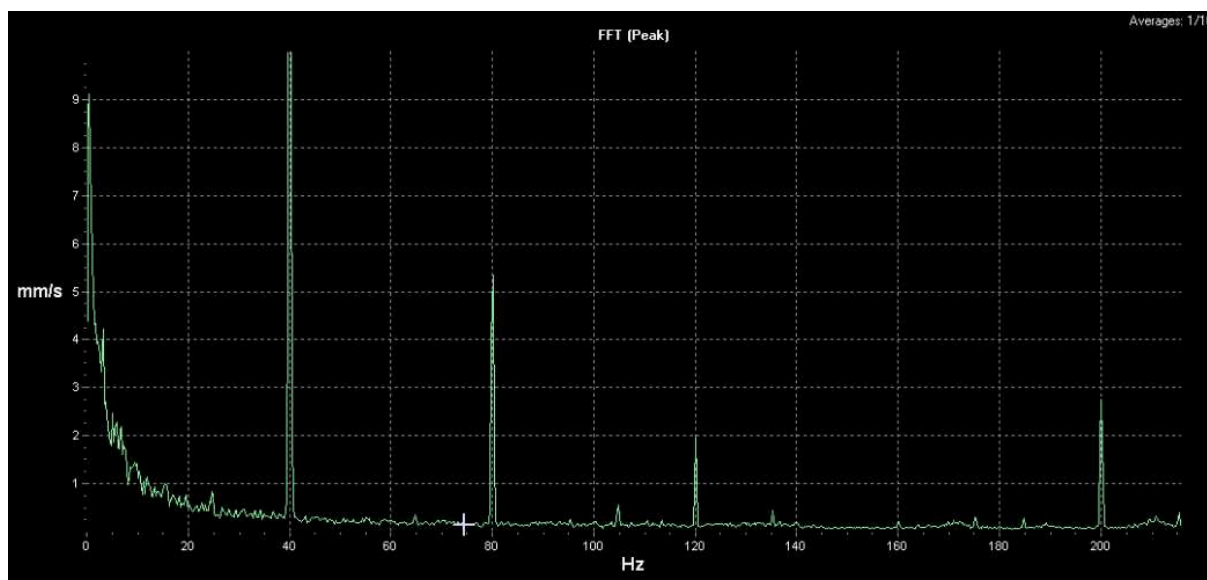


Obr. 68 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací FFT do 20kHz ložiska L3 23220K

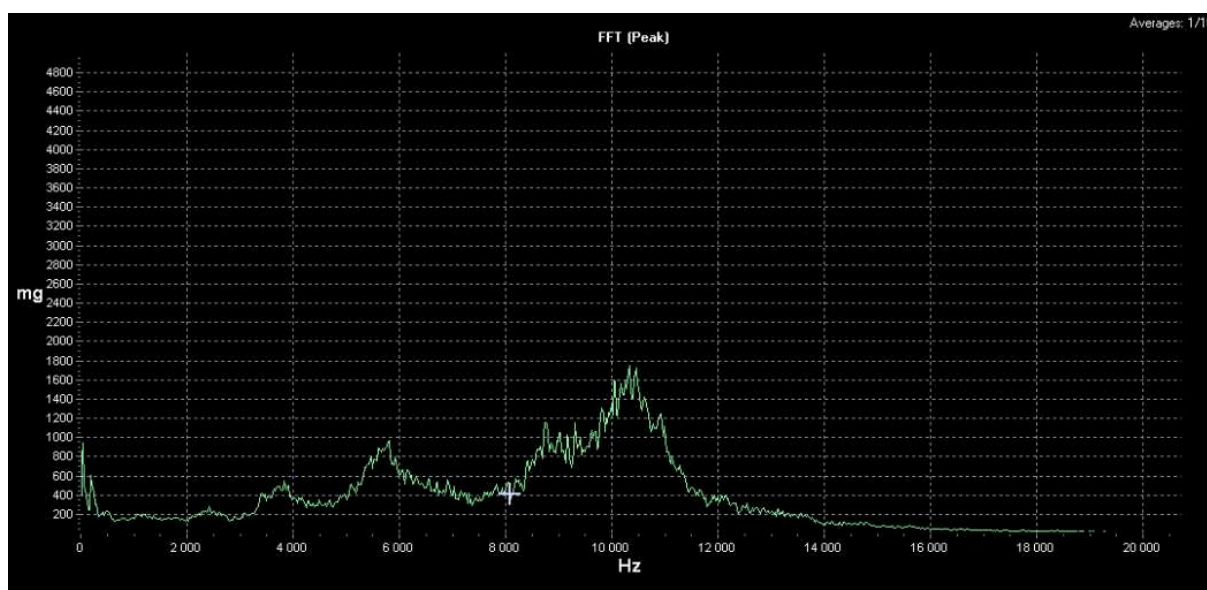


Obr. 69 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací FFT do 250Hz ložiska L3 23220K

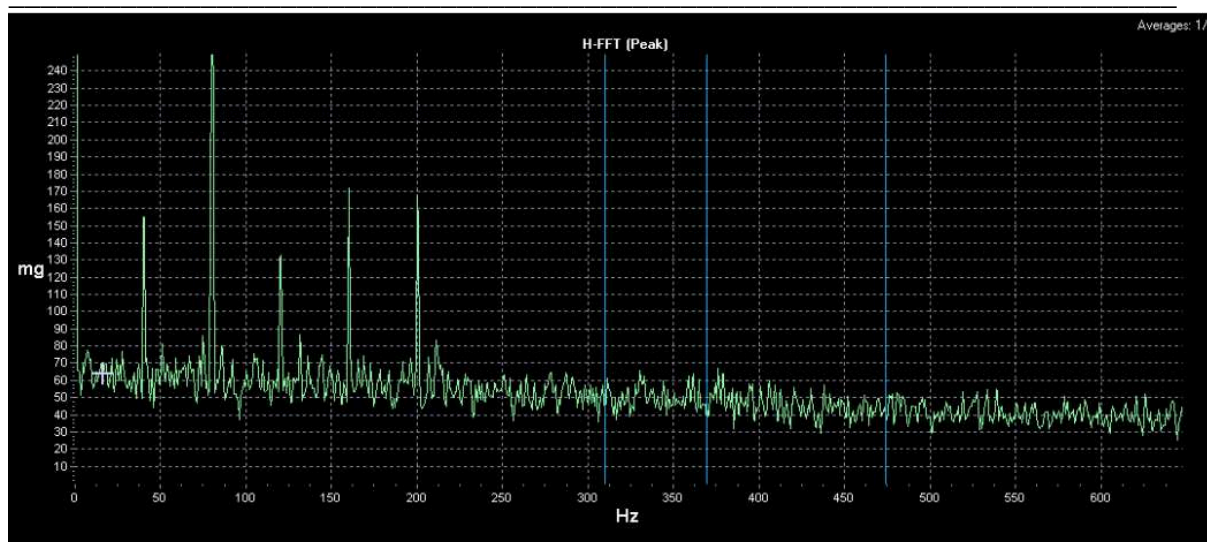
Ložisko L4 23220K má problém s mazáním. Mazání je nedostatečné (viz obrázek číslo 71). Na obrázku číslo 70 je vidět nevývaha (27 mm/sec) a uvolnění (špičky na 1x, 2x, 3x, 4x RPM). Toto uvolnění se nejspíše přenáší i na ložiska L3 (viz obrázek číslo 69). Doporučuji vyvážit a kontrolu uložení ložiska L3 a L4. Na obrázku číslo 72 jsou vyznačeny chybové frekvence ložiska L4 23220K.



Obr. 70 Frekvenční spektrum rychlosti vibrací FFT do 250Hz ložiska L4 23220K



Obr. 71 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací FFT do 20kHz ložiska L4 23220K



Obr. 72 Frekvenční spektrum zrychlení vibrací obálky H-FFT do 190Hz ložiska L4
23220K

3.4.2 Dílčí závěr

Praktické měření provedené za pomoci firmy DIF s.r.o. bylo s výsledkem:

Ložiska L1 6313 a L2 6315 na motoru nevykazují známky poškození, mazání je taktéž v pořádku.

Kolo ventilátoru je nevyvážené (na L4 jsou amplitudy až 27 mm.s^{-1}). Ložiska L3 23220K a L4 230220K na ventilátoru mají problém s mazáním. Mazání je nedostatečné. Při nerespektování doporučení může dojít k zadření/poškození ložisek. U ložiska L3 23220K se v H-FFT objevují špičky poruchových frekvencí ložiska. U ložiska L4 23220K je ve spektru rychlosti vibrací vidět nevyváhu a uvolnění. Toto uvolnění se nejspíše přenáší i na ložisko L3 23220K.

Doporučení:

Oprava ventilátoru, vyvážení, kontrola uvolnění na L4. Poté kontrola mazání L3,L4. Přestože ložiska nejsou v havarijním stavu, doporučuji výměnu obou. Zhoršený stav mazání může být způsoben přetížením uložení z důvodu velké nevyváhy.

4. Závěr

Ve shrnutí je celým „kouzlem“ systému octavis efector možnost parametrické diagnostiky, při velmi srozumitelné interpretaci naměřených údajů, které systém poskytuje. To mnohým výrobním společnostem umožní mít velmi propracovaný systém on-line či off-line diagnostiky. Já vidím přínos především v oblasti on-line diagnostiky, bez vedlejších finančních nákladů, jako jsou např. expertní pracovníci.

Expertního pracovníka z oblasti vibrační diagnostiky bude potřeba pouze k instalaci a nastavení celého systému, ať už se bude jednat o volbu umístění snímačů, definování monitorovaných parametrů, údržbě a kontrole systému a jiných.

Systém octavis efector umožňuje kontrolu a vyhodnocení dat na dálku. To je velice výhodné, pokud by si výrobní společnost vyžádala podrobnou analýzu naměřených hodnot. V mnohých případech by to znamenalo osobní návštěvu a diagnostiku daného zařízení v areálu společnosti, čemuž se se systémem octavis efector můžeme vyhnout.

Interpretace naměřených hodnot systémem octavis efector je natolik vypovídající, že se v ní orientuje i naprostý laik, bez znalostí vibrodiagnostiky. Systém je propracován na takové úrovni, že počítá i s nepozorností obsluhy a o překročení mezních hodnot nás informuje akustickým (siréna) a světelným signálem (majáček).

Díky svému podrobnému studiu dané problematiky jsem došel k závěru, že v systémech typu octavis efector vidím budoucnost on-line diagnostiky výrobních zařízení. A to pro jejich snadné použití, rychlou instalaci a velkou přehlednost naměřených dat.

SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

- [1] TŮMA, Jiří *Zpracování vibrodiagnostických signálů*. [s.l.], 2010. 28 s. Učební podklady. VŠB - TU Ostrava, FS.
- [2] TŮMA, Jiří. *TeFFT*. Ostrava, 2010. 20 s. Učební podklady. VŠB - TU Ostrava, FS.
- [3] ČSN ISO 5348 (356860). *Vibrace a rázy : Mechanické připevnění akcelerometrů*. [s.l.] : © Český normalizační institut, 1998-05-05. 16 s. EAN kód 8590963566603.
- [4] ČSN ISO 10816-1 (011412). *Vibrace : Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 1: Všeobecné směrnice*. [s.l.] : © Český normalizační institut, 1995-12-15. 24 s. EAN kód 8590963515854.
- [5] HELEBRANT, František, et al. *Studijní podklady : Pro certifikaci odborné způsobilosti pracovníků v oblasti vibrodiagnostiky*. Zlín : [s.n.], 2000. 269 s. ISSN 1210-311X.
- [6] *Programová příručka : Software pre efector octavis*. IFM : Ifm electronic, 06/2009. 69 s. VES003 Verzia 2.4.
- [7] SÝKORA, Roman. *Vibrodiagnostika : Valivá ložiska*. VŠB, TU Ostrava, 47 s. Učební podklady pro studenty. VŠB - TU Ostrava, FS
- [8] TŮMA, Jiří. *Zpracování signálu : VIB 2 snímče*. Ostrava, 000. 23 s. Oborová práce. VŠB, TU OSTRAVA, FS. Dostupné z WWW: <http://fs1.vsb.cz/6_TUMA_ZPRSIGN/Teorie/VIB2_snimace_cz.pdf>.
- [9] BERRY, . *Ilustrovaná tabulka pro diagnostiku vibrací : dle Berryho*. Ostrava, 03 2008. 15 s. Oborová práce. Technical associates of Charlotte. P.C. R-0894-4.
- [10] Podklady firmy Dif s.r.o
- [11] URL:< <http://www.milosnemec.cz> >
- [12] URL:< <http://www.ifm.com> >

[13] URL:< <http://hw.cz/Produkty/Nove-soucastky/ART1875-Jak-pracuji-nove-3D-MEMS-akcelerometry-Freescale-.html> >

[14] URL:< www.337.vsb.cz/materialy/zaklady_experimentalni.../EXPME_4.pdf >

[15] URL:< <http://www.ceske-normy.cz> >

[16] URL:< http://panwiki.panska.cz/index.php/A/D_p%C5%99evodn%C3%ADk >

[17] URL:< <http://www.adash.cz> >

[18] URL:< <http://cs.wikipedia.org/wiki/FFT> >

PŘÍLOHY

A. Tabulky vyhodnocení vibrací, které používá systém octavis efector

Tabulka 3 odhadu stavu ložiska dle naměřených hodnot:

| Octavis hodnota objektu Ložisko (=BPFO+BPFI+BSF) | 120 – 500 ot.min ⁻¹ | 500 – 1000 ot.min ⁻¹ | 1000 – 3000 ot.min ⁻¹ | 3000 – 12 000 ot.min ⁻¹ |
|--|--------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| >550 mg | D | D | D | D |
| 450 – 550 mg | D | D | D | D |
| 350 – 450 mg | D | D | D | D |
| 250 – 350 mg | D | D | C | C |
| 150 – 250 mg | D | C | C | C |
| 50 – 150 mg | C | C | B | B |
| 0 – 50 mg | C | B | B | B |
| | B | B | B | B |

Tab. 3 Odhad stavu ložiska [6]

B – Trvalý provoz

C – Provoz do opravy

D – Nutné odstavení

Pro nízké otáčky se doporučuje užití tabulky č. 4

| Špička max | 5 – 10 ot.min ⁻¹ | 10 – 25 ot.min ⁻¹ | 25 – 50 ot.min ⁻¹ | 50 – 120 ot.min ⁻¹ |
|----------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 3000 – 5000 mg | D | D | D | D |
| 1500 – 3000 mg | D | D | D | D |
| 1000 – 1500 mg | D | D | D | C |
| 500 – 1000 mg | D | D | C | C |
| 400 – 500 mg | D | D | C | C |
| 300 – 400 mg | D | C | C | B |
| 200 – 300 mg | C | C | B | B |
| 100 – 200 mg | C | B | B | B |
| 0 – 100 mg | B | B | B | B |

Tab. 4 Odhad stavu ložiska pro nízké otáčky [6]

Tabulka 5 je pro všeobecné vyhodnocení špiček, rychlosti či RMS.

| Špička, mm.s ⁻¹ , RMS (10Hz – 1kHz) | Velký stroj | | Středně velký stroj | | Čerpadla s vícelamelovými oběžnými koly s odděleným pohonem | | Čerpadla s vícelamelovými oběžnými koly s integrovaným pohonem | |
|--|---------------------------------|------------------------|--|------------------------|---|------------------------|--|------------------------|
| | P = 300 kW – 50 MW | | P = 15 kW – 300 kW | | P > 15 kW | | P > 15 kW | |
| | Stroje s výškou osy > 315 mm | | Stroje s výškou osy = 160 až 315 mm | | | | | |
| | Pevná základna | Flexibilní základna | Pevná základna | Flexibilní základna | Pevná základna | Flexibilní základna | Pevná základna | Flexibilní základna |
| >11,00 | D | D | D | D | D | D | D | D |
| 7,10...11,00 | D | C | D | D | D | C | D | D |
| 4,50...7,10 | C | B | D | C | C | B | D | C |
| 3,50...4,50 | B | B | C | B | B | B | C | B |
| 2,80...3,50 | B | A | C | B | B | A | C | B |
| 2,30...2,80 | B | A | B | B | B | A | B | B |
| 1,40...2,30 | A | A | B | A | A | A | B | A |
| 0,00...1,40 | A | A | A | A | A | A | A | A |

Tab. 5 Všeobecné hodnocení špiček, RMS a rychlosti. [6]

Legenda k tab. 5:

A = nový stroj

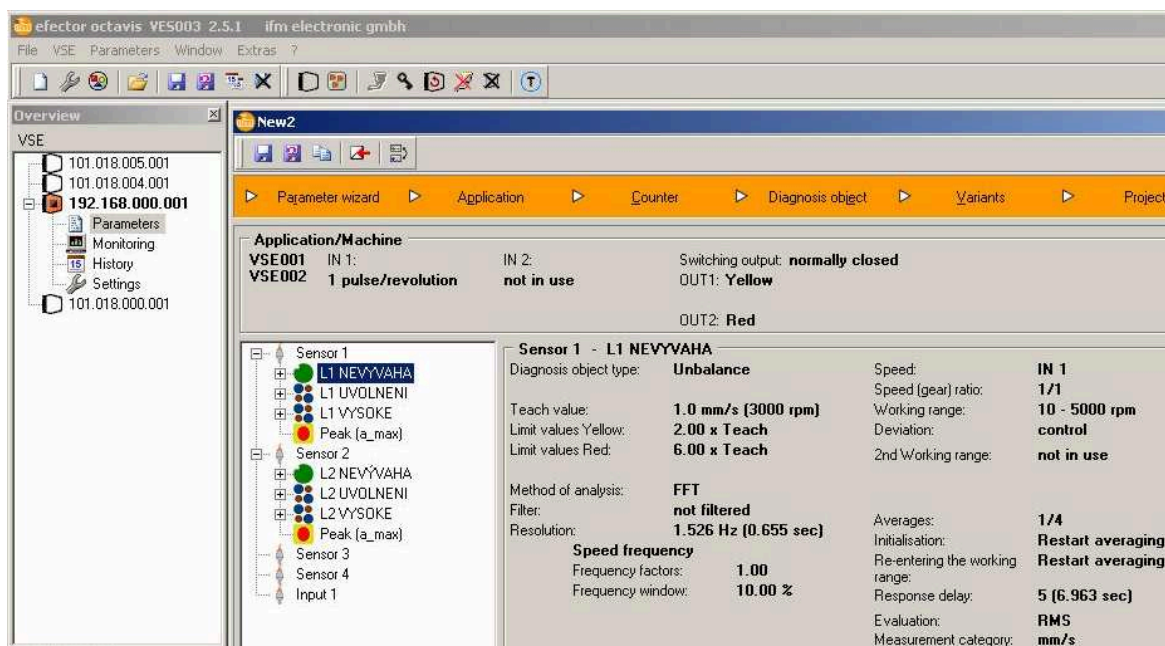
B = trvalý provoz

C = dočasný provoz do opravy

D = nutné odstavení stroje a oprava

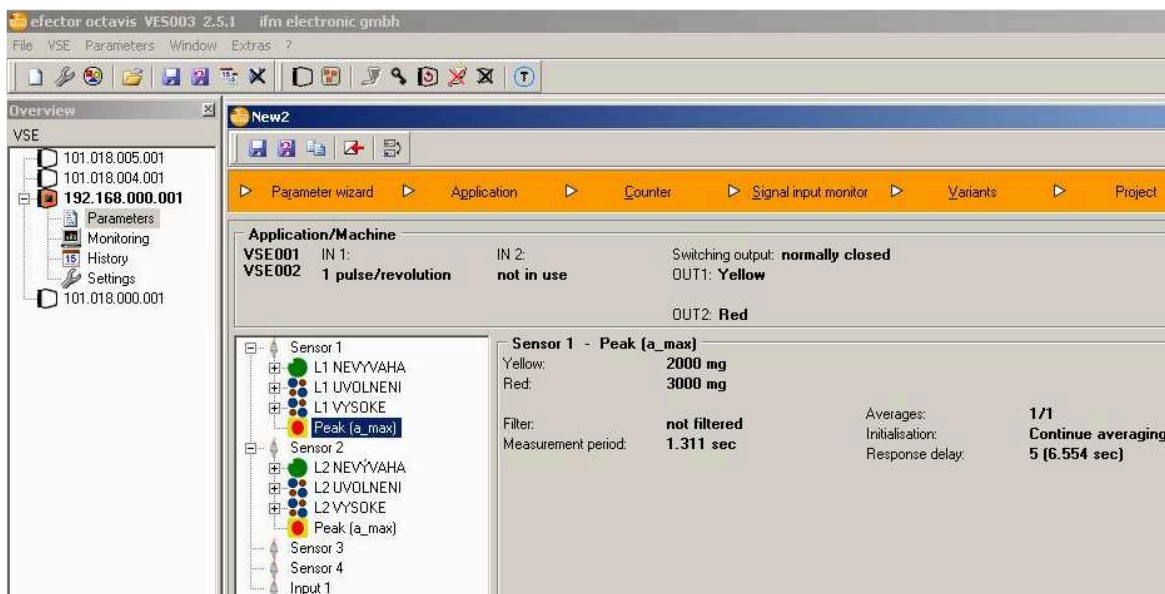
B. Nastavené hodnoty parametrů:

1. Nevývaha:



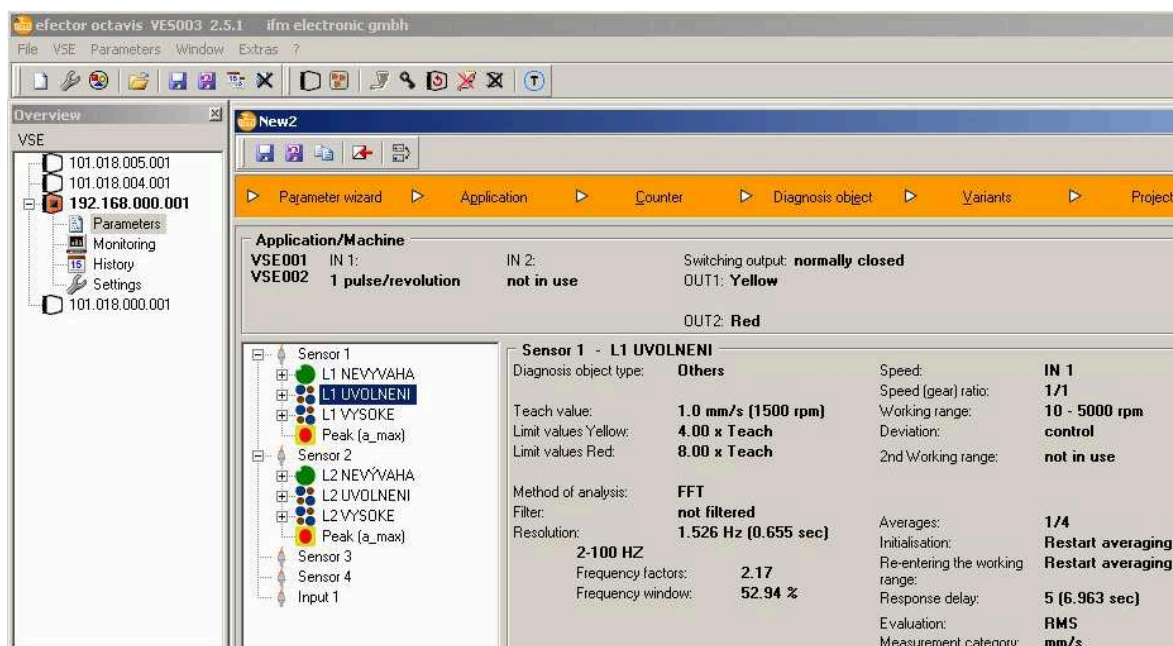
Nastavené hodnoty pro nevyvahu

2. Monitor vibrací v časové oblasti:



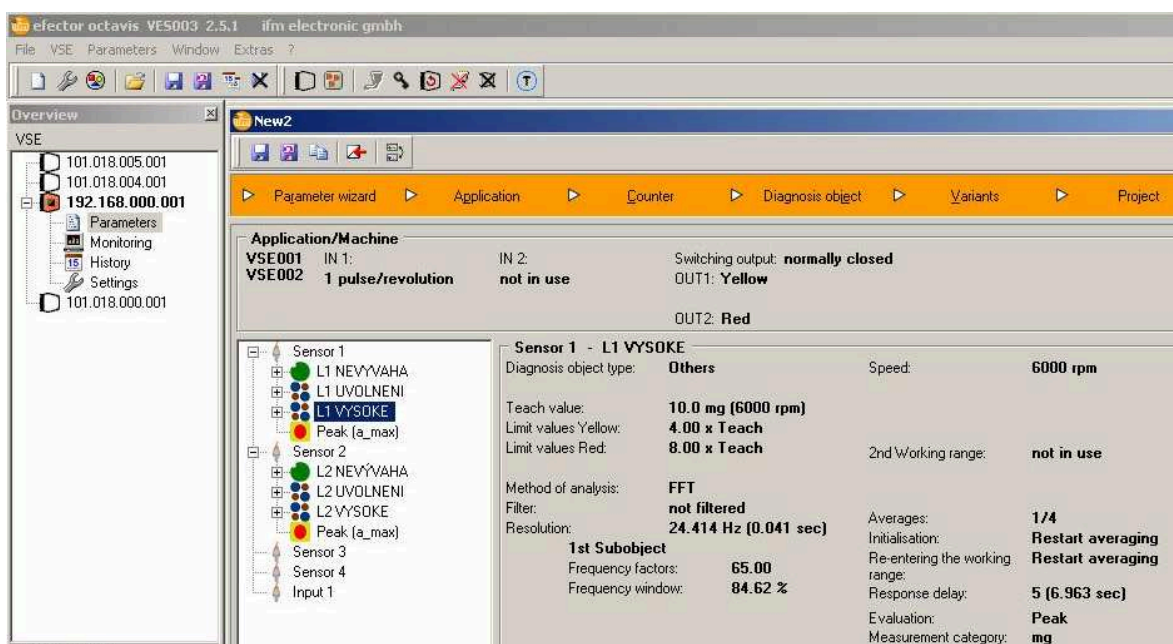
Nastavené hodnoty pro časový monitor vibrací

3. Uvolnění



Nastavené hodnoty pro uvolnění

4. Vysoké frekvence



Nastavené hodnoty pro vysoké frekvence